

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **041733**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.11.28

(21) Номер заявки
202092423

(22) Дата подачи заявки
2019.04.19

(51) Int. Cl. **C10G 15/00** (2006.01)
C10G 15/08 (2006.01)
C10G 15/12 (2006.01)
C10G 7/00 (2006.01)
F23Q 5/00 (2006.01)

(54) МАСШТАБИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ КРЕКИНГА ТЯЖЕЛОЙ НЕФТИ С ПОМОЩЬЮ МНОЖЕСТВА ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНЫХ МОДУЛЕЙ

(31) 62/660,619

(32) 2018.04.20

(33) US

(43) 2021.03.24

(86) PCT/US2019/028336

(87) WO 2019/204737 2019.10.24

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ЗЭ ТЕКСЭС А ЭНД М
ЮНИВЕРСИТИ СИСТЕМ (US)**

(56) WO-A1-2014209803
US-B2-8106572
WO-A1-2017173028

(72) Изобретатель:
**Ван Куньпэн, Стак Дэвид, Джемисон
Говард, Бхуйянь Шарифул Ислам,
Мартинс Чарльз (US)**

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(57) В изобретении предложен способ масштабирования многофазного плазмохимического реактора, использующего газовый пузырьковый разряд в жидкостях. Один из примеров включает в себя масштабирование систем и процессов разряда с одиночным искровым разрядником с подходящими характеристиками. Параметры масштабирования основаны на изменении размера одного искрового разрядника. Другой пример включает в себя масштабируемые системы и процессы, которые могут быть применены к множеству искровых разрядников с помощью множества разрядных модулей и информации о размерах. Количество модулей и полученные размеры устройств могут зависеть от требуемой производительности и удельного энергопотребления. Приложения позволяют масштабировать любую плазмохимическую систему или процесс с аналогичными механизмами и реакторами, например реакторы для обработки нефти.

B1

041733

041733

B1

Перекрестная ссылка на родственную заявку

Настоящая заявка испрашивает приоритет в отношении предварительной заявки на патент США № 62/660619, под названием "HEAVY OIL CRACKING DEVICE SCALEUP WITH MULTIPLE ELECTRICAL DISCHARGE MODULES", поданной 20 апреля 2018 г. и включенной в настоящий документ посредством ссылки в полном объеме.

Область техники

Настоящий способ в целом относится к процессу крекинга сырой нефти и других тяжелых жидких углеводородных материалов с использованием искрового разряда и, в частности, относится к масштабированию реакторов с множеством искровых разрядников, используемых при крекинге тяжелой нефти, с помощью множества электроразрядных модулей. Раскрытый подход дополнительно применим к масштабированию плазменных химических реакторов, которые создают плазму в жидкостях для обработки или улучшения материалов.

Уровень техники

Нефтяную и газовую промышленности можно разделить на три хронологических сектора: нефтегазодобыча, промежуточный и последовательная переработка. Сектор нефтегазодобычи включает в себя сектор разведки и добычи. Он охватывает поиск, добычу и извлечение сырой нефти и/или природного газа из подземных или подводных месторождений. Он также охватывает процесс бурения и эксплуатации скважин, с помощью которого извлекают и выводят сырую нефть и сырой газ на поверхность. Разведка включает в себя проведение геологических и геофизических исследований, поиск потенциальных подземных или подводных месторождений сырой нефти и природного газа, получение договоров аренды и разрешений на бурение, и весь процесс бурения. Промежуточный сектор включает в себя транспортировку сырой нефти или нефтепродуктов, обычно посредством трубопроводов, нефтяных танкеров, барж, грузовиков или по железной дороге. Конечным пунктом назначения являются нефтеперерабатывающие заводы, которые затем начинают последовательную переработку. Промежуточный сектор также включает в себя хранение этих продуктов, а также любые оптовые маркетинговые мероприятия. Промежуточный сектор может также включать в себя элементы нефтегазодобычи и последовательной переработки вследствие своего промежуточного положения. Например, промежуточный сектор может включать заводы по переработке природного газа, которые очищают неочищенный природный газ, а также удаляют и производят элементарную серу и сжиженный природный газ (СПГ) в качестве конечных продуктов.

В последнее время, из-за роста цен на сырую нефть, уменьшения запасов средней и легкой сырой нефти и обилия нетрадиционных видов сырой нефти, разработка запасов тяжелой сырой нефти и битума стала значительно более предпочтительной. Однако тяжелая сырая нефть и битум обладают множеством недостатков, которые необходимо устранить как при их добыче, так и при транспортировке на нефтеперерабатывающие заводы. Транспортировка тяжелой сырой нефти по трубопроводу затруднена из-за ее высокой плотности и вязкости (> 1000 сП) и низкой подвижности при температуре пласта. Кроме того, такие загрязнители, как отложения асфальтенов, тяжелые металлы, сера и минеральный раствор или соль, затрудняют транспортировку и очистку с использованием традиционных способов нефтепереработки. Наличие минерального раствора или соли в тяжелой нефти приводит к коррозии трубопровода. В некоторых случаях это может привести к образованию эмульсии, такой как смесь нефти с водой, что затрудняет транспортировку. Из-за большой молекулярной массы и высокой вязкости тяжелой нефти ожидается большой перепад давления вдоль трубопровода, что сделает его дорогостоящим и энергоемким. Кроме того, отложения асфальтенов забивают стенки, уменьшая площадь поперечного сечения, пригодную для потока нефти.

Следовательно, для устранения этих недостатков и транспортировки тяжелой сырой нефти выполняются дополнительные процессы. Они включают

снижение вязкости, например предварительный нагрев тяжелой сырой нефти и битума и последующий нагрев трубопровода, смешивание и разбавление легкими углеводородами или растворителем. Вязкость смешанной смеси определяется добавленным разбавителем и его пропорцией. Для разбавления тяжелой нефти требуется два трубопровода, один для нефти, а другой для разбавителей, что дополнительно увеличивает затраты;

эмульгирование за счет образования нефти в воде;

снижение лобового сопротивления/сопротивления трения (например, смазка трубопровода за счет использования кольцевого потока, присадки, снижающей сопротивление);

частичное облагораживание тяжелой нефти на месте для получения синтетической сырой нефти с улучшенной вязкостью, плотностью в градусах API (American Petroleum Institute, Американский институт нефти) и сведение к минимуму содержания асфальтенов, серы и тяжелых металлов.

Частичное облагораживание тяжелой нефти включает преобразование только части вакуумного остатка и получение синтетической сырой нефти (СШ), содержащей 5-25% остатка. Их можно разработать за половину стоимости полного облагораживания, но они не осуществляются в промышленном масштабе из-за отсутствия технологий, недостатков, связанных со стабильностью и экономическими параметрами СШ. Однако в таких странах, как Канада, из-за огромных запасов тяжелой сырой нефти частичное облагораживание становится конкурентоспособным вариантом.

Сектор последовательной переработки представляет собой последний этап нефтегазовой отрасли. Он включает переработку сырой нефти, переработку и очистку сырого природного газа. Сбыт и распределение продуктов, полученных из сырой нефти и природного газа, также являются частью этого сектора. Продукты, поставляемые обычным потребителям, включают газولين или бензин, керосин, реактивное топливо, дизельное топливо, топочный мазут, мазут, смазочные материалы, парафин, асфальт, природный газ и сжиженный нефтяной газ (СНГ), а также массу нефтехимических продуктов.

В стандартном процессе переработки нефти сырую нефть обессоливают и подвергают атмосферной перегонке, при которой она разделяется на фракции в зависимости от диапазона точек кипения. Температура отсечки атмосферного остатка (АО) составляет приблизительно 350-360°C. Фракции ниже этих значений испаряются и отделяются, тогда как остаток от атмосферной перегонки, содержащий более длинные углеродные цепи, требует дальнейшей перегонки при пониженном давлении и высокой температуре. В связи с этим, проводят процесс вакуумной перегонки, который важен для дальнейшего облагораживания сырой нефти и экстракционных масел. Температура отсечки вакуумного остатка (ВО) составляет приблизительно 565°C.

Однако, несмотря на обработки АО и ВО, нефтеперерабатывающие заводы, которые перерабатывают более тяжелую нефть, все равно будут иметь значительную долю поступающей нефти в виде остатка (например, остаток ллойдминстерской смеси составляет приблизительно 50% при 460°C). Следовательно, для крекинга тяжелой нефти требуется еще несколько процессов. В настоящее время доступно несколько способов крекинга сырой нефти. Из них термический крекинг считается наиболее эффективным и широко используется для преобразования тяжелых углеводородов с более высоким молекулярным весом в более легкие фракции с более низким молекулярным весом.

Наиболее часто используемыми способами крекинга являются гидрокрекинг, каталитический крекинг с псевдооживленным слоем и установка замедленного коксования. Хотя все эти процессы крекинга связаны с некоторыми преимуществами, они также имеют существенные недостатки. Общие преимущества включают возможность производства различных видов топлива от легкого авиационного керосина до тяжелого жидкого топлива в больших количествах.

Однако существенным недостатком применяемых в настоящее время способов синтеза более легких топлив из сырой нефти являются высокие финансовые затраты, связанные с реализацией способа. Для этих способов обычно высоки и капитальные, и эксплуатационные расходы. Кроме того, из-за экономии от повышения масштаба производства вся термическая обработка наиболее эффективна только при большом объеме и площади поверхности. Подсчитано, что минимальный эффективный масштаб для нефтеперерабатывающего завода полного цикла составляет приблизительно 200000 баррель в сутки (mille barrels per day, MBD) емкости сырой нефти.

В частности, существующий способ реализуется при высоких температурах и давлениях рабочей среды и поэтому требует специальных материалов для изготовления химических реакторов и другого специального оборудования. Например, реакторы обычно изготавливают из легированных сталей специальных сортов. Еще одним фактором, увеличивающим огромные затраты на эти процессы, является водородное охрупчивание и контроль качества. Водородное охрупчивание представляет собой процесс, при котором металлы, образующие гидрид, такие как титан, ванадий, цирконий, тантал и ниобий, становятся хрупкими и разрушаются из-за внедрения и последующей диффузии водорода в металл.

Рабочие условия для одноступенчатой установки гидрокрекинга составляют 348-427°C (660-800°F) с увеличением на приблизительно 0,05-0,1°C (0,1-0,2°F) в день, чтобы компенсировать потерю активности катализатора и давление в диапазоне от 8724 до 13790 кПа (1200-2000 фунт/кв.дюйм). Установка для коксования топлива работает при 487-500°C (910-930°F) с типичным давлением 103,4 кПа (15 фунт/кв.дюйм). Для установки каталитического крекинга с псевдооживленным слоем реактор и регенератор считаются основными компонентами установки каталитического крекинга с псевдооживленным слоем. Реактор находится при температуре приблизительно 535°C и под давлением приблизительно 172,4 кПа (25 фунт/кв.дюйм), в то время как регенератор для катализатора работает при температуре приблизительно 715°C (1320°F) и давлении приблизительно 241,3 кПа (35 фунт/кв.дюйм). Поддержание таких рабочих условий обходится очень дорого.

Кроме того, капитальные затраты на установку риформинга, такую как установка гидрокрекинга, очень велики. Подсчитано, что установка гидрокрекинга требует в пять раз больших капитальных затрат, чем атмосферная перегонка. Например, если установка перегонки сырой нефти производительностью 100000 баррель в день стоит приблизительно 90 млн долларов, то для установки гидрокрекинга с коэффициентом сложности 5 потребуется 450 млн долларов для переработки нефти того же объема. Кроме того, катализаторы, используемые в процессах флюид-каталитического крекинга (ФКК), весьма чувствительны к содержанию различных примесей в сырой нефти. В частности, присутствие серы в сырой нефти приводит к быстрой деградации каталитических свойств катализатора. Таким образом, необходима предварительная обработка (обессеривание) сырья, что увеличивает весомость затрат. Кроме того, никель, ванадий, железо, медь и другие загрязнители, присутствующие в исходном сырье для ФКК, оказывают вредное воздействие на активность и продуктивность катализатора. Особенно неблагоприятны никель и ванадий. Кроме того, удаление части циркулирующего катализатора в качестве отработанного катализа-

тора и замена ее свежим катализатором для поддержания желаемого уровня активности для технологии ФКК увеличивает эксплуатационные расходы способа.

Плазмохимические способы используют различные типы электрических разрядов для создания плазмы. Такие способы крекинга и риформинга нефти описаны в различных патентах и публикациях. Например, в публикации патента США № 2005/0121366 раскрыт способ и устройство для риформинга нефти путем пропуска электрического разряда непосредственно через жидкость. Недостатком данного способа является малый ресурс электродов и связанная с этим высокая вероятность нарушения искры зажигания между этими электродами. Из-за высокого электрического сопротивления нефти, расстояние между электродами должно быть минимальным. Например, расстояние может составлять приблизительно 1 мм. Однако межэлектродное расстояние быстро увеличивается из-за эрозии электродов, что приводит к прекращению работы и/или поломке системы. Кроме того, использование таких небольших промежутков между электродами позволяет обрабатывать только очень небольшой объем исходного материала в любой момент времени.

В патенте США № 5626726 описан способ крекинга нефти, в котором используется гетерогенная смесь жидких углеводородных материалов с различными газами, например обработка плазмой дугового разряда. Этот способ имеет те же недостатки, что и описанный выше небольшой разрядный промежуток, и требует специального устройства для смешивания газа с жидкостью, а также получаемой гетерогенной суспензии. Нагрев смеси непрерывным дуговым разрядом приводит к значительным потерям энергии, повышенному сажеобразованию и низкой эффективности.

В патенте России № 2452763 описан способ, в котором искровой разряд происходит в воде, а воздействие разряда передается на гетерогенную смесь газа и жидкого углеводорода или нефти через мембрану. Это увеличивает разрядный промежуток между электродами, что увеличивает срок службы электрода, но снижает эффективность воздействия искрового разряда на углеводород или нефть. Это происходит потому, что большей частью прямой контакт плазменного разряда с углеводородной средой исключен. Кроме того, и без того сложная конструкция с использованием генератора импульсов высокого напряжения дополнительно усложняется из-за использования устройства для приготовления гетерогенной смеси и устройства для отделения обрабатываемой среды от воды, в которой создают искровой разряд.

В публикации патента США № 2010/0108492 и патента США № 7931785 описаны способы, имеющие высокую эффективность преобразования тяжелой нефти в легкие углеводородные фракции. В этих способах гетерогенная нефтегазовая среда подвергается воздействию электронного пучка и полностью несамодерживающегося электрического разряда. Однако практическое использование предложенного способа является проблематичным, так как помимо сложной системы приготовления гетерогенной смеси требуется ускоритель электронов с устройством вывода электронного пучка вакуумной камеры ускорителя в газожидкостной смеси высокого давления. Ускоритель электронов представляет собой сложное техническое устройство, которое значительно увеличивает как капитальные, так и эксплуатационные расходы. Кроме того, любое использование пучка быстрых электронов сопровождается тормозным рентгеновским излучением. Таким образом, все устройство требует соответствующей биологической защиты, что еще больше увеличивает затраты.

Плазмохимические реакторы могут быть добавлены в качестве способов облагораживания на нефтеперерабатывающем заводе для всех видов сырья. Внедрение таких реакторов в процесс на нефтеперерабатывающем заводе, а не в процесс на месторождении тяжелой нефти предлагает простой и поэтапный план разработки по сравнению с реализацией на месторождении. Это в основном связано с тем, что нефть, которая должна проходить через эти реакторы на нефтеперерабатывающих заводах, уже подвергалась ряду предварительных обработок, таких как обезвоживание, обессоливание и атмосферная перегонка. Следовательно, общая обработка будет значительно проще по сравнению с реализацией на месторождении. Нефтеперерабатывающий завод может поставлять сетевое напряжение и газы-носители без дополнительной потребности в их включении в процесс облагораживания. Кроме того, эти реакторы не должны будут соответствовать строгим требованиям к трубопроводам по вязкости, плотности, содержанию олефинов и стабильности нефти, необходимым в полевых условиях. С точки зрения нефтеперерабатывающего завода, будет увеличиваться производство требуемых продуктов перегонки, и снижаться нагрузка на установку для коксования и гидрокрекинга за счет устранения узких мест в технологической цепочке.

Раскрытие изобретения

В одном аспекте предложен способ масштабирования одиночного искрового разрядника в плазмохимическом реакторе для обработки углеводородов. Способ может включать в себя определение набора параметров, включающего по меньшей мере один из параметров индикации продуктивности и параметров индикации масштаба, при этом параметры продуктивности указывают на взаимодействие плазмы-газа и плазмы-жидкости в многофазном реакторе, а параметры масштаба представляют эффективность использования пространства реактора и общий размер. Для улучшения параметров масштаба может быть разработана модель масштабирования с одним разрядником. Параметрическое исследование может быть проведено для оценки количества искровых разрядников и информации об общей массе для искровых

разрядников.

В другом аспекте предложен способ масштабирования множества искровых разрядников с помощью реакторных модулей в плазмохимическом реакторе для обработки углеводородов. Способ может включать в себя использование множества реакторных модулей для создания трехмерной матрицы реактора. Полученное устройство может содержать количество электроразрядных модулей, выбранное в зависимости от производственных требований.

В некоторых вариантах воплощения, способ дополнительно включает в себя использование полученного устройства для обработки углеводородов на нефтяном месторождении или нефтеперерабатывающем заводе.

В некоторых вариантах воплощения, разрядные модули могут быть собраны без встраивания на месте.

В некоторых вариантах воплощения, разрядные модули являются смонтированными на салазках или переносными.

В некоторых вариантах воплощения, полученное устройство используют независимо в качестве реактора для обработки нефти или используют в системе обработки нефти после объединения с системой обработки нефти.

В некоторых вариантах воплощения, способ дополнительно включает в себя размещение разрядных модулей в матрице реактора, так что выбранный столбец или ряд могут быть отключены без отключения остальных столбцов или рядов соответственно.

В некоторых вариантах воплощения, способ дополнительно включает в себя подключение матрицы реактора к внешней текучей среде и электрическим устройствам посредством быстроразъемных соединений.

В некоторых вариантах воплощения, каждый разрядный модуль передает данные от датчика на сервер в реальном времени, чтобы обеспечить удаленную диагностику и мониторинг.

В некоторых вариантах воплощения, управление газом и потоком для каждого разрядного модуля отделено от других разрядных модулей.

В некоторых вариантах воплощения, способ дополнительно включает в себя добавление или удаление разрядного модуля при уменьшенных утечках газа или помехах.

В некоторых вариантах воплощения, уровень жидкости можно регулировать в разрядном модуле пассивным способом.

В некоторых вариантах воплощения, способ дополнительно включает в себя непрерывную работу реактора с различными степенями или стадиями процесса, протекающими одновременно или последовательно, так что жидкий углеводородный материал непрерывно подается в разрядный реактор по мере выхода полученных углеводородных фракций из реактора.

В некоторых вариантах воплощения, углеводородные продукты содержат легкие фракции, которые нужно отделить от дистиллята и твердых веществ, образующихся в разрядном промежутке, но которые необходимо удалить из продукта.

В другом аспекте представлена трехмерная матрица реактора для обработки углеводородов на нефтяном месторождении или нефтеперерабатывающем заводе. Матрица реактора может содержать по меньшей мере три электроразрядных модуля, размещенных в матрице, так что столбец или ряд разрядных модулей в матрице могут быть избирательно отключены без отключения разрядных модулей, не входящих в выбранный столбец или ряд.

В некоторых вариантах воплощения, матрица реактора выполнена с возможностью передачи в реальном времени информации о разрядных модулях на сервер для диагностики и мониторинга в режиме реального времени.

В некоторых вариантах воплощения, матрица реактора может быть составлена из вариантов разных реакторных модулей, таких как комбинация реакторного модуля с 4 искровыми разрядниками, реакторного модуля с 8 искровыми разрядниками, реакторного модуля со сварным корпусом или пенного реакторного модуля.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 иллюстрирует пример технологических путей масштабирования многофазного реактора.

Фиг. 2А-2С представляют иллюстративные схемы поведения пузырьков в жидкостях между электродами цепи искрового разряда.

Фиг. 3 представляет барботирование метана в нефтепродукте без приложения напряжения в цепи искрового разряда.

Фиг. 4А-4С иллюстрируют различные механизмы разрушения пузырьков в жидкостях.

Фиг. 5 иллюстрирует пример параметрической конструкции реактора для обработки нефти (Oil Treatment Reactor, OTR) с одним искровым разрядником (OTR1) с изменяемой длиной устройства (L) согласно иллюстративному варианту реализации.

Фиг. 6 иллюстрирует пример параметрической конструкции OTR1 с различными диаметрами нефтяной камеры (D) согласно иллюстративному варианту реализации.

Фиг. 7А-7С иллюстрируют пример блока реакторного модуля с канюлированным корпусом, с че-

тырью искровыми разрядниками без конденсатора в соответствии с иллюстративным вариантом реализации. Включены виды в разрезе (фиг. 7А), в изометрии (фиг. 7В) и сбоку (фиг. 7С).

Фиг. 8 представляет фотографию иллюстративного модуля $M = 4$ согласно иллюстративному варианту реализации.

Фиг. 9 представляет фотографию иллюстративного модуля $M = 8$ согласно иллюстративному варианту реализации.

Фиг. 10 представляет иллюстративный модуль $M = 8$ со встроенным подмодулем высоковольтного источника питания согласно иллюстративному варианту реализации.

Фиг. 11 представляет пример блока реакторного модуля с восемью искровыми разрядниками и встроенным конденсатором в соответствии с иллюстративным вариантом реализации.

Фиг. 12А и 12В представляют иллюстративную конструкцию сварного сосуда $M = 7$ из нержавеющей стали для работы при высоких температурах с видом сбоку (фиг. 12А) и в изометрии (фиг. 12В) в соответствии с иллюстративным вариантом реализации.

Фиг. 13 изображает реально изготовленный сварной сосуд ОТР, созданный в соответствии с иллюстративным вариантом реализации.

Фиг. 14 иллюстрирует механизм скольжения с использованием ряда реек и роликов для ввода и вывода стойки ОТР из матрицы в соответствии с иллюстративным вариантом реализации.

Фиг. 15 иллюстрирует механизм скольжения с использованием телескопических салазок для ввода и вывода стойки ОТР из матрицы в соответствии с иллюстративным вариантом реализации.

Фиг. 16 иллюстрирует стойку ОТР, выполненную с механизмом скольжения, распределительным коллектором, выдвижной ручкой и другими необходимыми принадлежностями согласно иллюстративному варианту реализации.

Фиг. 17 иллюстрирует стойку ОТР, которая может быть увеличена до количеств N , согласно иллюстративному варианту реализации.

Фиг. 18 иллюстрирует массив ОТР, который может быть увеличен до количеств $N \times N$, согласно иллюстративному варианту реализации.

Фиг. 19 иллюстрирует стойку ОТР, которая может быть увеличена до количеств $N \times N \times N$, согласно иллюстративному варианту реализации.

Фиг. 20А изображает вид сверху матрицы ОТР, подключенной к резервуарам подачи и накопления с использованием системы трубопроводов с подачей через коллектор ко всем ОТР и из них, согласно иллюстративному варианту реализации.

Фиг. 20В изображает вид сбоку матрицы ОТР, подключенной к резервуарам подачи и накопления с использованием системы трубопроводов с подачей через коллектор ко всем ОТР и из них, согласно иллюстративному варианту реализации.

Фиг. 21 изображает вид в изометрии матрицы ОТР с маркировкой матрицы ОТР, подключенной к резервуарам подачи и накопления с использованием системы трубопроводов с подачей через коллектор ко всем ОТР и из них, согласно иллюстративному варианту реализации.

Фиг. 22 иллюстрирует электрический коллектор, который может быть соединен в определенной ориентации со стойкой для подачи высокого напряжения на ОТР, согласно иллюстративному варианту реализации.

Фиг. 23 иллюстрирует фотографию газового коллектора и газовой системы, объединенной с матрицей ОТР, согласно иллюстративному варианту реализации.

Фиг. 24А и 24В иллюстрируют изолятор высокого напряжения с изображением вида в изометрии (фиг. 24А) и сверху (фиг. 24В) в соответствии с иллюстративным вариантом реализации.

Фиг. 25 представляет фотографию небольшой экспериментальной матрицы согласно иллюстративному варианту реализации.

Подробное описание

Настоящий способ относится к области переработки жидкостей, содержащих молекулы тяжелых углеводородов, на более легкие жидкие и/или газообразные фракции. Настоящий способ может быть использован для крекинга жидкой тяжелой нефти на более легкие углеводородные фракции с использованием потока газа-носителя, вводимого в жидкую тяжелую нефть для образования смеси, с последующей ионизацией смеси электрическим разрядом. Данный способ может быть с успехом применен для эффективного преобразования тяжелой нефти.

В одном аспекте предложен способ крекинга жидких углеводородных материалов на легкие углеводородные фракции с использованием искрового разряда. Способ включает в себя пропускание жидкого углеводородного материала через разрядную камеру в межэлектродный промежуток внутри разрядной камеры, в которой межэлектродный промежуток образован между парой электродов, расположенных на расстоянии друг от друга. Способ дополнительно включает в себя нагнетание газа-носителя в жидкий углеводородный материал, по мере его подачи в межэлектродный промежуток, в результате чего образуется газожидкостная углеводородная смесь. Пара электродов содержит положительный электрод и отрицательный электрод, причем отрицательный электрод подключен к конденсатору. Конденсатор заряжа-

ется до напряжения, равного напряжению пробоя газа-носителя в межэлектродном разрядном промежутке, или превышающего его. По мере образования газожидкостной углеводородной смеси она подвергается воздействию тока между электродами при напряжении, достаточном для возникновения искрового разряда. Способ также включает извлечение легких углеводородных фракций, образующихся в результате воздействия импульсного искрового разряда на газожидкостную углеводородную смесь.

Существует несколько проблем, связанных с масштабированием реакторов. Целью масштабирования является создание экспериментального или промышленного реактора, обладающего возможностью воспроизведения с помощью стандартной методологии результатов, полученных в лаборатории. Одним из недостатков является отсутствие стандартного способа выполнения процесса, который может помочь устранению недостатков и снижению деловых рисков. Одна из причин отсутствия стандартного подхода состоит в том, что кинетические данные весьма специфичны для испытываемой системы, и эти данные обычно спутаны вследствие массопереноса и гидродинамики. Независимое изучение внутренней кинетики и явления переноса затруднительно. Кроме того, остается разрыв между технологиями и оборудованием промышленного масштаба и оборудованием, используемым в лаборатории. Кроме того, процессы переноса, такие как перенос массы, тепла и количества движения, зависят от масштаба, что подразумевает различное поведение лабораторных моделей и полномасштабных установок.

Из-за сложности масштабирования, упомянутой выше, могут возникнуть различные возможные проблемы. Например, существует возможность потери управления, если реакция экзотермическая, потому что изменение площади теплообмена на единицу объема зависит от масштаба. Эта проблема менее выражена или отсутствует для медленных и эндотермических реакций. Кроме того, на преобразование и селективность отрицательно влияет увеличение масштаба из-за различий в переносе массы между фазами. Более того, в разных масштабах используются разные способы экстракции и разделения, поскольку реакции на более крупной установке даже при одинаковом преобразовании будут давать значительно больше продуктов, и они будут накапливаться в системе перед удалением. Кроме того, возникают проблемы с совместимостью со стеклом, нержавеющей сталью и другими материалами. Лабораторные реакторы часто изготавливают из стекла, тогда как в промышленности инженеры часто предпочитают заводское оборудование из нержавеющей стали или металла. Если обрабатываемые материалы несовместимы с выбранным материалом реактора, могут иметь место коррозия и нежелательные реакции. Точно так же материалы электродов также важны, поскольку они не только влияют на поведение разряда, но также могут изменять свойства обрабатываемой жидкости.

Увеличение масштаба химического реактора включает количественные правила, которые описывают работу реактора в различных масштабах, рабочих условиях и с различными способами проведения реакции. Соответствующие параметры могут быть исследованы в лабораторных экспериментах, включая характеристики разряда (например, емкость, давление разряда и промежуток, энергия на импульс, конфигурация контура), условия потока (например, скорость потока газа, приведенная скорость газа, задержка газа, размер пузырьков газа, плотность, вязкость и поверхностное натяжение жидкости), а также количество искровых разрядников. Поскольку количество параметров велико, выгодно спланировать эксперимент таким образом, чтобы эффекты, возникающие от различных параметров, могли быть независимо изучены на поведении этого плазмохимического реактора.

Как правило, лабораторные измерения в газожидкостном реакторе проводятся для изучения механизмов, не зависящих от размера, таких как кинетика и термодинамика реакции. Физические свойства, такие как плотность, вязкость, поверхностное натяжение, удельная теплоемкость, размер пузырьков и площадь поверхности, следует называть рабочими условиями. Их влияние на химическую реакцию, а именно на преобразование и селективность, следует изучить. Кроме того, следует изучить изменение поведения плазмы из-за таких параметров, как емкость, условия потока газа и поведение пузырьков. Особое внимание следует уделять: (1) взаимодействию пузырьков газа с жидкостями; (2) взаимодействию между объемом плазмы и общим объемом газа и (3) месту возникновения пробоя, что в первую очередь определяется свойством газа-жидкости (размером пузырьков, числовой плотностью пузырьков, а также свойствами жидкости) и характеристиками разряда. Параметры могут быть определены для указания условий взаимодействия, например, площади межфазного контакта: площади пузырьков по сравнению с объемом жидкости и объема разряда по сравнению с общим объемом газа. Одна из целей газожидкостного реактора заключается в доведении до максимума этих значений. Данный плазмохимический реактор, используемый для крекинга углеводородов, отличается низкой скоростью реакции, низким преобразованием и высоко неравновесной химической реакцией. Как следствие, теплопередача в объеме жидкости, перенос масс и термодинамика, вероятно, не будут существенно изменяться после масштабирования, а это означает, что качество процесса масштабирования, в основном, зависит от того, насколько хорошо оптимизирован контакт газа-жидкости и контакт плазмы-газа.

Анализ процесса и экономика также могут быть оценены даже на очень ранней стадии. Поскольку представляющая интерес экспериментальная область может сместиться вследствие безопасности процесса и экономических соображений, такая оценка потенциально помогает улучшить качество и прогресс работы, помогая избежать чрезмерных исследовательских усилий в направлениях, которые менее интересны или менее приоритетны.

Экспериментальную установку часто создают после того, как способ и устройство тщательно исследованы в лаборатории, перед масштабированием до полномасштабной установки. Экспериментальная установка предназначена не только для того, чтобы доказать, что существующая лабораторная установка дает те же результаты в большем масштабе, но и для опробования способа и устройства, используемого в промышленных масштабах. Кроме того, экспериментальная установка позволяет оценивать технические характеристики продукта и настраивать системы автоматизации и управления для промышленного использования, которые обычно не используют в лаборатории. Раскрытые в настоящем документе иллюстративные варианты воплощения обеспечивают гибкость процессов масштабирования. Экспериментальная установка может быть создана с использованием многих разрядных модулей. Количество разрядных модулей может зависеть от доли продукта и других технологических требований.

В рамках обсуждаемой темы, отметим, что при масштабировании минимальной единицей является зона плазменной реакции, которая образована единственным разрядным промежутком и пузырьками газа в жидкости внутри этого промежутка. Модуль реактора состоит из множества зон плазменной реакции N , размещенных внутри одного сосуда, который изолирует обрабатываемую среду от окружающей среды и имеет входы и выходы для жидкости, газа и электроэнергии. Данные зоны плазменной реакции могут быть размещены в виде линейного массива, как показано на фиг. 1 или в виде 2-мерной матрицы внутри модуля. Модули размещают рядом в виде одномерного горизонтального массива с модулями M , который называется модульной стойкой. Данные модульные стойки могут быть размещены вертикально в виде массива модулей из P стоек. Множество массивов модулей может быть объединено в трехмерную модульную матрицу из Q массивов. Модульные матрицы могут быть объединены с дополнительным оборудованием для создания блока обработки, который имеет $N * M * P * Q$ зон плазменной реакции. Множество блоков обработки может быть объединено с дополнительным вспомогательным оборудованием или без него для увеличения общей пропускной способности системы.

В крупном масштабе такие параметры, как теплопередача и распределение потока, будут разными и зависимыми от размера. Следовательно, при увеличении масштаба реактора важно знать, что реактор все еще имеет такое же поведение с точки зрения преобразования и технических характеристик продукта. Часто поведение реактора изменяется в зависимости от его размера по причинам, указанным выше. Следует заметить, что не всегда необходимо создавать экспериментальную установку для оценки способов и устройств. Менее дорогостоящие и более удобные эксперименты с макетами могут моделировать крупномасштабную установку и помочь в оценке полномасштабных установок, особенно когда зависящие от размера параметры не являются доминирующими в процессе. Имеются и другие причины, по которым не создают экспериментальную установку, например, высокая стоимость. Но информация относительно реакции и реактора, полученная при масштабе, приближенном к полному размеру, больше похожа на то, что будет происходить в реакторе промышленного размера.

Когда будет продемонстрировано, что экспериментальная установка осуществима и экономически жизнеспособна, можно создавать полномасштабную установку. Полномасштабная установка может представлять собой трехмерную матрицу, состоящую из разрядных устройств, подходящих для полномасштабной производительности. Тот же способ можно использовать, осторожно увеличивая количество модулей разных размеров. Полномасштабная установка должна вести себя так же, как экспериментальная установка, за исключением того, что ее производительность, потребление энергии и стоимость, как ожидается, будут выше, в зависимости от количества модулей. Следует заметить, что затраты на указанную экспериментальную установку могут увеличиваться нелинейно по мере увеличения количества модулей.

Фиг. 1 представляет ключевые элементы, которые участвуют в примерах процессов увеличения масштаба. Как только в лаборатории будет накоплено достаточно знаний о способе и устройстве реактора, эти знания могут быть объединены для построения математической модели. Данная модель должна включать все аспекты, которые играют важную роль в процессе, такие как гидродинамика, газожидкостная плазма, кинетика реакции, а также термодинамика. Эти аспекты тесно связаны друг с другом и взаимозависимы, что усложняет масштабирование реакторов. Некоторые параметры модели зависят от размера, а другие не зависят. Важно распознать и рассмотреть и то, и другое. Параметры, полученные или выведенные в лаборатории, могут значительно изменяться в зависимости от размера реактора. Таким образом, для запуска математической модели могут потребоваться дополнительные инструменты, такие как программирование/шифрование. В модели физический размер, количество разрядных промежутков и/или скорость потока текучей среды могут быть изменены для увеличения реактора. Затем рассчитывают итоговый размер реактора, количество реакторных блоков, а также производительность.

Один иллюстративный способ, раскрытый в настоящем документе, применяется к одиночному искровому разряднику. Ряд параметров определяется как параметры индикации продуктивности и/или как параметры индикации масштаба. Параметры продуктивности указывают на взаимодействие плазмы с газом и плазмой в жидкостью в многофазном реакторе. Параметры масштаба представляют эффективность использования пространства реактора и его общий размер. Другой пример способа, раскрытый в настоящем документе, применяется для увеличения масштаба реактора для обработки нефти (OTR), который может перерабатывать нефть с гораздо более высокой производительностью. В этом примере спо-

соба использовано множество разрядных модулей для построения трехмерной матрицы реактора. Полученное устройство с различным количеством электроразрядных модулей для обработки углеводородов может быть использовано на нефтяном месторождении или на нефтеперерабатывающем заводе. Модули могут быть легко собраны для работы либо независимо в качестве реактора для обработки нефти, либо для работы в рамках существующей системы после включения в нее. Количество модулей может быть легко изменено в соответствии с производственными потребностями. Поиск и устранение неисправностей и замена таких модулей проще, поскольку каждый может быть независимым от других.

По сравнению с другими типами реакторов для обработки нефти, раскрытые иллюстративные устройства имеют ряд явных преимуществ. Например, количество модулей и разрядных устройств может гибко изменяться в зависимости от производственных и других требований. Следовательно, устройство согласовано с производительностью, которая может отличаться более чем на один порядок. Техническое обслуживание устройства и замена деталей проще и экономичнее, потому что устройство выполнено с возможностью работы аналогично серверам суперкомпьютера, так что добавление и удаление модулей являются практически мгновенными задачами. Раскрытые в настоящем документе иллюстративные устройства компактны и могут иметь очень прочную конструкцию. В некоторых вариантах воплощения, устройства могут служить в качестве мобильных реакторов для обработки нефти и транспортироваться туда, где они необходимы, например, вблизи месторождения нефти или на нефтеперерабатывающем заводе. Установки крекинга тяжелой нефти с множеством электроразрядных модулей применимы для обработки сырой нефти и других промежуточных продуктов нефтепереработки, а также других углеводородов. Могут быть определены различные параметры масштабирования, чтобы всесторонне охарактеризовать процесс разряда с одиночным искровым разрядником, а также продуктивность увеличенного в масштабе реактора с несколькими модулями и эффективность использования его физических размеров.

В иллюстративных вариантах воплощения настоящего описания, раскрыт способ увеличения масштаба многофазного плазмохимического реактора с использованием выброса пузырьков газа в жидкостях для обработки жидких углеводородов. Некоторые варианты воплощения применяют к процессу масштабирования одиночного искрового разрядника и его характерным параметрам. Ряд параметров может быть определен как параметры индикации продуктивности или параметры индикации масштаба для получения характеристик одиночного искрового разрядника. Параметры продуктивности могут быть идентифицированы для указания на взаимодействие плазмы с газом и плазмой с жидкостью в многофазном реакторе. Параметры масштаба могут быть идентифицированы для представления эффективности использования пространства реактора и его общего размера. Другие варианты воплощения применяют к реакторам с множеством искровых разрядников с помощью множества разрядных модулей и информации о размерах. В таких вариантах воплощения может быть использовано множество разрядных модулей для создания двух- или трехмерной матрицы реактора. Например, такой подход может быть использован на нефтяном месторождении или на нефтеперерабатывающем заводе в качестве мобильного и расширяемого плазмохимического реактора. Размеры и мощность таких устройств может быть адаптивно регулируемой в соответствии с производственными требованиями.

Принципы действия и работа иллюстративных модульных разрядных реакторов с искровым разрядником, раскрытых в настоящем документе, преимущественно удобны для пользователя и могут быть лучше поняты со ссылкой на чертежи и сопроводительное описание.

Результирующее устройство, в различных вариантах воплощения, обеспечивает различное количество электроразрядных модулей для обработки углеводородов. Устройство может работать либо независимо, как реактор для обработки нефти, либо может быть включено для работы в существующую систему. Вследствие фрактального модульного характера портативных блоков, их обрабатываемая мощность может постепенно увеличиваться по мере изменения потребностей. Требуемое количество модулей и конфигурация матрицы может быть определена или выбрана, например, на основании требуемой производительности и удельного энергопотребления.

Иллюстративные модули могут быть размещены в виде матрицы, что позволяет пользователям избирательно отключать столбец или ряд. В некоторых вариантах воплощения, трехмерная (3D) матрица с последовательными разрядными блоками может работать при различных оптимизированных условиях реактора. В других вариантах воплощения, двумерная (2D) матрица может обеспечивать очень высокую пропускную способность. Матрица реактора может быть соединена с внешней текучей средой и электрическими устройствами посредством быстроразъемных соединений. Соединения между модулями могут допускать "горячую" замену (без выключения электропитания), так что замена модуля не приведет к остановке системы. Горячая замена относится к возможности выполнять обслуживание отдельного модуля или группы модулей в 3-мерной матрице модулей без отключения всей системы. Это можно выполнять, поскольку многие модули работают параллельно от коллектора. Коллектор может иметь быстроразъемные соединения, которые могут соединяться с подмножеством группы модулей и отдельными модулями. При подключении или отключении модуля требуется только локальное отключение, без действия на всю систему.

Обслуживание и замена деталей модулей могут быть простыми, поскольку каждый может быть независимым от других. Диагностика и мониторинг могут быть выполнены для каждого модуля и каждого

искрового разрядника в модуле. Это может быть достигнуто путем передачи данных датчика каждого модуля на удаленный сервер. Модули могут обеспечивать соединения цепей высокого напряжения и изоляцию, которые могут быть смонтированы в нижней части модулей в отсеках для лучшей изоляции. Могут быть включены элементы схемы. Таким образом, схема для каждого модуля может быть полностью или частично независимой от других схем. Например, схема, связанная с каждым промежутком, может преобразовывать линейное напряжение в импульсный постоянный ток высокого напряжения для этого промежутка, или схема, связанная с каждым промежутком, может преобразовывать переменный ток среднего или высокого напряжения в импульсный постоянный ток высокого напряжения для этого промежутка с помощью линий преобразования напряжения в среднее или высокое напряжение переменного тока с общим элементом цепи. Каждый модуль может иметь собственное устройство диагностики и мониторинга в режиме реального времени. Когда происходит сбой, неисправный модуль может быть идентифицирован и остановлен для обслуживания или замены. Например, в матрице модулей $10 \times 10 \times 10$, в которой каждый модуль содержит 10 отдельных разрядников для обработки, отказ отдельного модуля составляет порядка 1/1000 от общего действия системы, и имеет очень ограниченное влияние на систему. Точно так же один разрядник может составлять 1/10000 всей системы.

В различных вариантах воплощения, безопасность может быть повышена с помощью системы диагностики и мониторинга в режиме реального времени, обладающей возможностью предоставления в реальном времени информации о каждом модуле, а также об устройстве в целом. При возникновении неисправностей возможно избирательное выключение модулей или устройства. Регулирование и подача газа в каждый модуль могут быть отделены от других. Когда модули удаляют или добавляют, утечка газа или помехи, вызванные процессом добавления или удаления, могут быть минимизированы. Это осуществляется посредством независимого клапанного управления потоком газа и жидкости к каждому модулю и/или с помощью быстроразъемных фитингов (трубные и трубопроводные фитинги, которые, когда они разделены, имеют функцию перекрытия/герметизации), которые поддерживают целостность закрытых систем. Этот тип разъема может применяться во всех различных газовых, жидкостных и электрических соединениях. Механические соединения и опоры для модуля также могут быть соединениями с защелкой, предназначенными для быстрой взаимозаменяемости модулей. Каждый модуль эффективно работает независимо с собственным управлением потоком и схемой управления.

Вследствие изменений гидростатического давления, как правило, сложно иметь массив модулей и одинаковый уровень жидкости во всех модулях. В некоторых вариантах воплощения, уровень жидкости можно регулировать в модуле пассивным способом. Одним из примеров этого является использование слива, шлюза или комбинированного устройства шлюзового/сливного типа на выходе из модуля для регулирования уровня жидкости.

Другим примером является использование сужения отверстия на входе модуля, так что падение давления в отверстии более значимо, чем падение гидростатического давления, и давления в модулях будут относительно постоянными. Комбинация этих способов может использоваться частично или совместно, так что высота уровня жидкости не будет зависеть от падения давления (трения, потока и/или гидростатики) в линии.

Поскольку в различных вариантах воплощения реактор должен действовать непрерывно, различные ступени или стадии процесса могут происходить одновременно или последовательно, так что жидкий углеводородный материал непрерывно подается в разрядный реактор по мере того, как полученные углеводородные фракции выходят из камеры. Полученные углеводороды могут содержать легкие фракции, которые нужно отделить от дистиллята и твердых веществ, образующихся в разрядном промежутке, но которые необходимо удалить из продукта.

В контексте данного документа, термин "модуль" относится к независимому и переносному блоку, который содержит несколько отдельных разрядных блоков реактора. Каждый блок реактора может содержать множество искровых разрядников, которые также могут работать независимо или в группе, использующей один и тот же газ-носитель и управление от электрической цепи. Такая модульная конструкция не требует встраивания на месте. Никакие части этого устройства или вспомогательные компоненты, необходимые для работы этого устройства, не должны встраиваться на месте, потому что, например, это устройство составлено из модулей, и каждый модуль может быть смонтированным на салазках или переносным. Общий размер группы модулей, которая содержит разрядный реактор, может быть избирательно выбран для облегчения доставки салазок стандартным промышленным транспортом, подходящим для данного места. Цель такой конструкции может заключаться в обеспечении ее использования в различных местах, например, на нефтяном месторождении, на море или на нефтеперерабатывающем заводе. Единственная необходимая установка может заключаться в подключении электроэнергии, подачи газа, а также ввода и вывода питания. При доставке на место необходимо будет подключить электроэнергию, газ, подачу жидкости и продуктов. Это может быть выполнено с помощью стандартных трубопроводов, шлангов и электрических соединений, соответствующих месту/применению. Модули не требуют встраивания на месте, включая сварку, сборку конструкций, бетонных плит или других работ, обычно выполняемых при строительстве нефтеперерабатывающего завода. Точно так же системы локализации разливов, системы безопасности для обнаружения газа, системы пожаротушения и аналогичные

вспомогательные системы могут быть интегрированы в модуль, и их не нужно будет устанавливать после доставки. Можно использовать несколько салазок, каждая из которых содержит множество модулей, для достижения любой желаемой производительности или обрабатываемого объема.

Преыдущие попытки создания модульной конструкции значительно отличались. Например, требовалось значительное встраивание на месте и сборка крупных компонентов. Кроме того, минимальный блок обработки был значительно больше. Напротив, в иллюстративных вариантах воплощения настоящего изобретения, минимальным блоком обработки может быть один разрядный промежуток, который может быть рассчитан на обработку от 0,01 до приблизительно 0,1 баррель в день. Например, с помощью большого количества этих блоков на салазках, содержащих 10, 100, 1000 или 10000 отдельных разрядных промежутков, можно достичь диапазонов обработки от 0,01 баррель в день до 1 баррель в день.

В контексте данного документа, термин "масштабируемый" указывает, что количество модулей может быть расширено без необходимости в дополнительном оборудовании. Например, с множеством модулей можно использовать один насос, нагрев или конденсацию, а дополнительный модуль может не потребовать добавления дополнительного излишнего оборудования в систему.

В контексте данного документа, термин "тяжелые нефти" относится к тем углеводородным смесям, которые находятся в жидком состоянии при атмосферных условиях. Тяжелая нефть согласно техническому определению имеет плотность и вязкость выше определенных значений и обычно имеет более низкую рыночную цену по сравнению с легкой нефтью. Тяжелая сырая нефть и атмосферные остатки представляют собой два примера, которые могут хорошо соответствовать определению. Углеводороды могут включать, но не ограничиваются ими, парафины, ароматические углеводороды, нафтены, циклоалканы, алкены, диены и алкины. Они могут характеризоваться общим числом атомов углерода и количеством одинарных (C-C), двойных (C=C) или тройных (C≡C) связей между атомами углерода. Их можно без труда использовать для получения легких фракций, таких как бензин и керосин, или более тяжелых фракций, таких как дизельное топливо и мазут. Сотни различных молекул углеводородов в сырой нефти преобразуются с использованием реакторов и способов настоящей технологии в компоненты, которые могут использоваться в качестве топлива, смазочных материалов и в качестве сырья в других нефтехимических процессах.

В иллюстративных примерах масштабирования с одиночным искровым разрядником важно понимать, как работает разряд одиночного искрового разрядника в качестве плазмохимического реактора, включая характеристики разряда и соответствующие реакции, чтобы определить параметры, влияющие на представляющие интерес результаты. Раскрытый способ может включать в себя поиск тех параметров и процессов, которые изменяются с размером, и тех, которые относительно не зависят от размера реактора. В помощь при определении и изучении параметров может быть разработана модель.

В иллюстративных примерах вариантов воплощения могут быть получены параметры увеличения масштаба. Параметры масштабирования могут не зависеть от размера реактора и позволяют напрямую сравнивать результаты моделирования в различных масштабах. Первый параметр определяется как отношение объема газового разряда к общему объему пузырька газа в промежутке: $\gamma_1 = \text{объем разряда} / \text{объем пузырька}$. Это значение приблизительно указывает на эффективность использования газа и имеет возможный диапазон от 0 до 1. Идеальный диапазон для этого параметра может составлять, в различных вариантах воплощения, от 0,5 до 0,9. Однако диапазоны значений от 0,1 до 0,99 все еще могут обеспечивать очень хорошие условия обработки. Такие низкие значения γ_1 , как 10^{-3} , также могут обеспечивать приемлемые преобразования в химических реакциях. Газовые разряды над поверхностями жидкости могут иметь эффективное значение γ_1 менее 10^{-3} и, как правило, менее эффективны при химическом превращении. Такой диапазон параметров максимизирует взаимодействие активных частиц газа из разряда с молекулами жидких углеводородов на границе раздела пузырьков с жидкостью. Слишком высокое значение этого параметра может быть нежелательным, так как такие значения неизбежно приведут к постоянным технологическим путям нагрева объема и слишком высоким давлениям и температурам во время процесса электрического разряда и, таким образом, к неблагоприятной кинетике процесса. Слишком низкое значение приведет к значительному образованию химически активных частиц в газовой фазе, которые реагируют только с другими молекулами газовой фазы и не взаимодействуют с молекулами жидкой фазы. Указанный первый параметр зависит от характеристик разряда в двухфазных текучих средах газа-жидкости.

Второй определяемый параметр представляет собой отношение объема газовой фазы к общему объему текучей среды, такой как $\gamma_2 = \text{объем газовой фазы} / \text{общий объем двух фаз в промежутке}$. Значение второго параметра равно коэффициенту задержки газа в промежутке в пределах диапазона. Возможные значения составляют от 0 до 1. Слишком высокое значение указывает на наличие большого количества пузырьков газа в разрядном промежутке. Слишком низкое значение приводит к пробую в жидкой фазе, а не в газовой, это соответствует отношению $\gamma_1 = 1$, что нежелательно. Связанный и не менее важный параметр - это отношение площади поверхности плазменного разряда к площади поверхности нефти, равное $\gamma_1^{(2/3)}$. Точно так же связана глубина взаимодействия плазмы t_p , перпендикулярная этой поверхности, и глубина взаимодействия жидкости, t_1 , перпендикулярная этой поверхности. Связанный па-

раметр, таким образом, равен $r_1' = r_1^{(2/3)} \cdot t_p / t_1$ и обычно масштабируется с r_1 , хотя колебания давления газовой фазы и плотности жидкости могут вызывать расхождения между r_1 и r_1' . R_1 важен как для качества преобразования нефти, так и для общего размера системы. R_1 можно регулировать посредством размеров пузырька, положения пузырька, расстояния между пузырьками, размеров электрода, формы электрода, положения электродов, давления пузырька, свойств жидкости, энергии разряда, напряжения разряда, свойств газа и других рабочих параметров реактора.

Разница между первым и вторым отношениями состоит в том, что r_1 представляет только локальную задержку газа в области разряда, тогда как r_2 представляет собой задержку газа во всей нефтяной камере. Это имеет место потому, что двухфазные реакции происходят только на границе раздела между газом и жидкостью. R_2 имеет большее значение для масштабирования и определения размеров системы в целом. Кроме того, r_2 относится к общей эффективности использования массы и необходимости рециркуляции газа в системе.

В эффективно масштабируемом реакторе для обработки нефти важно регулировать r_2 . R_2 зависит от различных параметров текучей среды, газа и потока. Средний диаметр пузырька газа и задержка газа в первую очередь зависят от свойств жидкости и приведенной скорости газа, и глубины жидкости, $r_2 = f(\rho, \sigma, \mu, \theta, h)$, где ρ, μ, σ являются плотностью жидкости, вязкостью и поверхностным натяжением соответственно, а θ и h являются приведенной скоростью газа и высотой жидкости в промежутке соответственно. Например, более высокая вязкость может уменьшить задержку, но увеличивает средний размер пузырьков, а более высокая приведенная скорость газа увеличивает задержку, но уменьшает размер пузырьков. Это указывает на нелинейное влияние приведенной скорости на r_2 . Регулирование свойств текучей среды, а также моделирование потока и выбор экспериментальных параметров можно использовать для достижения соответствующего r_2 . Третий определяемый параметр представляет собой отношение объема текучих сред в единице к общему единичному объему как $r_3 =$ объем текучих сред/единичный объем. Это значение в значительной степени зависит от отношения длины к диаметру нефтяной камеры (длина/диаметр) и конфигурации блока OTR (например, от того, как размещены его электрические детали (конденсатор и резистор), а также выпуск и выпуск жидкости). Третье значение (r_3) должно иметь меньшее влияние на плазмохимический процесс, поскольку это, по сути, физический параметр реактора. Но его влияние на размер и стоимость реактора в целом является значительным, поскольку вызванная им разница может достигать 5-10 раз. Следуя той же идее для r_3 , четвертый параметр, r_4 определяют как отношение объема текучих сред к объему единичного квадрата: $r_4 =$ объем текучих сред / объем единичного квадрата. Можно предположить, что блок реактора выглядит как твердое тело прямоугольной формы, объем которого просто $L \times N \times W$. Пятый определяемый параметр - r_5 , или отношение площади поверхности пузырька газа к общему объему текучих сред: $r_5 =$ площадь поверхности пузырька/общий объем текучих сред. Значение пятого параметра имеет большое значение, поскольку реакции газа-жидкости происходят только на границе раздела, и значение указывает, насколько хорошо газ и жидкость контактируют друг с другом.

Шестой определяемый параметр представляет собой относительную длину столба пузырьков газа в промежутке: $r_6 = L_{\text{bubbles}} / d_{\text{gap}}$. Этот параметр важен, поскольку он определяет поведение газового разряда и контакт газа с жидкостью, которые являются двумя наиболее важными параметрами для плазмохимического реактора. Если промежуток постоянный, $L_{\text{bubbles}} + L_{\text{liquids}} = d_{\text{gap}}$. Этот параметр зависит от модели двухфазного потока.

На фиг. 2 показаны три различных режима потока слева направо: менее плотный поток пузырьков, плотный поток пузырьков и кольцевой поток. Оценочные значения r_6 , полученные из них, составляют 0,25, 0,85 и 1 соответственно. Режим А потока возникает при очень низкой приведенной скорости газа, и пузырьки хорошо отделяются. Большая часть промежутка была заполнена жидкостью, так что напряжение пробоя было бы очень высоким, что нежелательно. Режим В потока возникает, когда приведенная скорость газа достаточно высока, так что большое количество пузырьков хорошо распределено, но все еще отделено друг от друга. Это может быть желательно для достижения соответствующих значений r_1 , r_1' и r_2 . В этом типе режима потока в искровом промежутке имеется много пузырьков, а слой жидкости между пузырьками тонкий. В этом случае газ и жидкость имеют большие площади контакта. Напряжение пробоя газа легко регулируется и не слишком высокое (что приводит к слишком высокой энергии разряда и слишком высокому r_1). Режим С потока называется кольцевым потоком. Кольцевой поток в основном возникает при очень высокой приведенной скорости газа, и все пузырьки объединяются в столб газовой фазы, который напрямую соединяет два электрода. Недостатком режима С является то, что он не обеспечивает достаточного контакта между химически активными газами после разряда и жидкостями, даже если электрическое напряжение пробоя для создания плазмы может быть ниже. В условиях С значение r_1 слишком мало. Желательным режимом потока в этом случае является В, в котором газовый разряд и контакт газа-жидкости были оптимизированы. В различных вариантах воплощения, параметр r_6 должен находиться в диапазоне от более 0,8 до менее 1,0.

На фиг. 3 показаны два различных поведения пузырьков в жидкостях при пропускании метана в более легкую нефть со скоростью 0,03 л/мин через иглу 0,5 мм. Основное различие заключается в том, что

при приложении напряжения электрическое поле помогает уменьшить размер пузырьков и увеличить их количество. Электрическое поле значительно увеличивало приведенную скорость газа. Это может изменить режим потока с пузырькового на кольцевой, если исходный расход газа был слишком высоким. Значение r_6 в этом случае изменяется от менее чем 0,5 до более чем 0,95.

Седьмой и восьмой параметры можно определить как безразмерные числа r_1 и r_2 , не зависящие от размера реактора. Результат умножения времени пребывания нефти на частоту разряда равен $r_7 = t_{oil} * f$, тогда как результат умножения времени пребывания газа на частоту разряда равен $r_8 = t_{gas} * f$. Параметр r_7 напрямую определяет энергетическое воздействие на нефти и позволяет выполнять двумерные операции с требуемой дозой: изменение частоты или изменение расхода нефти. Параметр r_8 указывает, сколько раз газовый пузырек участвует в событии разряда до того, как он переносится из реакционной области реактора. Большие значения r_8 нежелательны, так как газовые частицы в пузырьке изменяются с каждым возникающим разрядом, а высокие или неконтролируемые значения r_8 приводят к возникновению неконтролируемых газовых смесей и меньшей селективности в продуктах процесса. В идеале значение r_8 находится в диапазоне от 0,5 до 1. Значения r_8 менее 1 хороши, они просто указывают на то, что несколько пузырьков проходят через зону реакции без разряда в них. Очень низкие значения r_8 , хотя они не обязательно являются вредными для преобразования или экономики способа в целом, неэффективны с точки зрения использования массы газа. Значения r_8 более 1 нежелательны с точки зрения регулирования газовой смеси и селективности продукта. Значения r_8 менее 10, вероятно, находятся в приемлемом диапазоне параметров процесса. Частицы газовой фазы, например, увеличение этого количества, повысит вероятность реакций с участием газа.

Еще одним важным параметром является режим пробоя, при котором сначала происходит разряд. В идеале разряд происходит только в газовой фазе, поскольку для этого требуется меньшее напряжение пробоя (либо в пузырьке, либо на пузырьке). Также возможно, что пробоем сначала происходит между пузырьками с тонким слоем жидкости. В экспериментах по изучению этого параметра было выявлено множество механизмов пробоя. Предполагается, что первый механизм пробоя происходит в газовой фазе только тогда, когда весь искровой промежуток был заключен в газовый пузырь, как показано на фиг. 4А. Пробоем сначала происходит на концах электродов, где присутствует более сильное электрическое поле. Второй механизм разряда, показанный на фиг. 4В, инициируется загрязнителями в жидкости. Когда загрязнения заряжаются от одного электрода и перемещаются в электрическом поле ко второму электроду, во время этого процесса происходит пробой. Третий и четвертый механизмы разряда, показанные на фиг. 4С, могут быть связаны с заряженными пузырьками. На заряженных пузырьках наблюдался конус Тейлора. Последующий пробоем был связан с конусом Тейлора, поскольку он изменяет электрическое поле между двумя пузырьками или пузырьком и электродом. Восемь параметров масштабирования, определенных выше, можно разделить на две группы: параметры индикации продуктивности, включая r_1 , r_2 , r_5 и r_6 , которые приблизительно указывают на взаимодействие газа и жидкости в этом плазмохимическом реакторе; и параметры индикации масштаба, включая r_3 , r_4 , r_7 и r_8 , которые могут представлять эффективность использования пространства реактора и его энергоемкость. Что касается модели масштабирования с одним промежуток, в целом, желательно оптимизировать или иным образом улучшить параметры масштабирования, определенные выше. Цель состоит в том, чтобы улучшить контакт газа и жидкости без значительного увеличения размера и веса реактора в целом. Выбор конструкции и материала для реактора также проводились в SolidWorks. Чтобы проиллюстрировать выбор конструкции и материала для реакторов, две 3-мерные модели сборки показаны на фиг. 5 и 6. На фиг. 5 показан постоянный диаметр нефтяной камеры с изменяемой высотой нефтяной камеры, а на фиг. 6 показана постоянная высота нефтяной камеры с изменяемым диаметром нефтяной камеры. Значение по умолчанию для L/D составляет 1,23 [$L = 5,08$ см (2 дюйма) и $D = 4,1275$ см (1,625 дюйма)]. Будет оценено влияние этих двух конструкций на параметры масштабирования.

Основываясь на двух различных концепциях конструкции с восемью различными конфигурациями, было оценено влияние конструкции и конфигурации реактора на вес, объем и все параметры реактора, определенные выше. Модель была построена в EES (Engineering Equation Solver, система решения уравнений в технических расчетах). Доза по умолчанию и производительность были выбраны равными 200 кГр и 5000 баррель в день соответственно. Кроме того, предполагалось, что плотность нефти составляет 900 кг/м^3 , а газовые пузырьки - 0,03 ст. л/мин.

Чтобы лучше сравнить влияние различных конструкций, было количественно предположено, что $r_1 = 1$ для всех конструкций, чтобы представить идеальный случай, в котором разряд происходит во всех пузырьках между двумя электродами, а r_2 представляет собой долю задержки газа в области разряда и зависит от свойств нефти, расстояния между электродами и способа впрыска газа. В модели масштабирования предполагалось, что средний диаметр пузырька равен внутреннему диаметру иглы для впрыска газа, а количество пузырьков в промежутке равно расстоянию между электродами, деленному на диаметр пузырька. Объем пузырька газа и площадь поверхности пузырька газа были результатом умножения количества пузырьков на средний объем и среднюю площадь поверхности пузырька соответственно. На основании выбранных материалов в SolidWorks были оценены объем и масса реакторной установки.

Общее количество блоков, а также общий вес и объем были оценены в модели.

Теперь будут представлены результаты для модели масштабирования с одиночным промежутком. Конфигурация реактора OTR1 различных конструкций, а также все параметры масштабирования приведены в табл. 1. Разрядный промежуток составляет 10 мм для всех конструкций. Внутренний диаметр впрыска газа составляет 0,25 мм, газ впрыскивается в нефть со скоростью 0,03 л/мин. Одна игла для впрыска газа используется в качестве отрицательного электрода и одна пластина наверху в качестве положительного электрода. Электрическая схема включает резистор и конденсатор, которые не будут отображаться в сборке SolidWorks. Как L/D, так и D/L изменяются со значениями 1, 1,5 и 2.

Таблица 1

Конструкция и конфигурации OTR1

Плазмохимический реактор	Разрядный промежуток (мм)	Количество игл	Пара электродов	Количество конденсаторов	Количество резисторов	Материал электрода	Материал нефтяной камеры
OTR1_изменяемая L	10	1	1	1	1	Нержавеющая сталь	Акрил
OTR1_изменяемый D	10	1	1	1	1	Нержавеющая сталь	Акрил

В табл. 2 приведены результаты проектирования и моделирования реактора с изменяемыми значениями L/D и D/L, включая параметры масштабирования, вес и объем реактора, количество блоков реактора, а также общий вес и объем по порядку, для обеспечения производительности 5000 баррель в сутки. Влияние конструкции на вес и объем реактора можно легко определить, сравнивая на r_3 и r_4 .

По сравнению с конструкцией с L/D = 1, конструкция с L/D = 2 имеет увеличенный на 12% вес и объем, что означает чувствительность физического размера реактора к значению отношения L/D. Еще более важным является влияние конструкции на продуктивность реактора, которую можно охарактеризовать параметрами r_1 , r_2 , r_5 и r_6 . Следует иметь в виду, что эти параметры зависят не только от конфигурации реактора, но, главным образом, от режима потока для двухфазного потока и приложенного напряжения между двумя электродами. Для представленных условий потока и напряжения такие параметры, как объем пузырька и площадь поверхности пузырька, должны быть аналогичными. Поскольку объем нефти в камере увеличивался с увеличением значения L/D, r_2 и r_5 соответственно уменьшались.

Влияние отношения D/L на вес и объем реактора более значимо. Вес и объем блока увеличиваются в 2 раза, если отношение D/L изменяется от 1 до 2. Это указывает на то, что физический размер реактора очень чувствителен к значению отношения D/L. Аналогичная тенденция была обнаружена для r_1 , r_2 , r_5 и r_6 вследствие разной конструкции. Все они уменьшались с увеличением значения D/L. Однако разница в том, что эти параметры изменяются быстрее с изменением значений D/L.

Таблица 2

Влияние конструкции на все определенные параметры, а также вес и объем в целом

L/D (D=1,625 дюйм)	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5 (1/м)	r_6	r_7	r_8	Масса блока (фунт)	Объем блока (дюйм ³)	Общая масса (миллион фунт)	Общий объем (миллион дюйм ³)	Количество блоков реактора (миллионы)
1	<1	0,000189	0,272	0,068	0,284				0,670	12,384	13,71	253,2	20,45
1,23 (по умолчанию)	<1	0,000154	0,324	0,084	0,231				0,689	12,779	14,08	261,3	20,45
1,5	<1	0,000126	0,381	0,102	0,190				0,710	13,254	14,52	271,0	20,45
2	<1	0,0000948	0,477	0,136	0,142				0,750	14,124	15,34	288,8	20,45
D/L (L=1,625 дюйм)	r_1	r_2	r_3	r_4	r_5 (1/м)	r_6	r_7	r_8	Масса блока (фунт)	Объем блока (дюйм ³)	Общая масса (миллион фунт)	Общий объем (миллион дюйм ³)	Количество блоков реактора (миллионы)
(по умолчанию)	<1	0,000154	0,324	0,084	0,231				0,689	12,779	14,08	261,3	20,45
1	<1	0,000189	0,272	0,0685	0,284				0,671	12,402	13,72	253,6	20,45
1,5	<1	0,000084	0,375	0,0912	0,126				1,184	24,232	20,67	413,9	20,45
2	<1	0,000047	0,453	0,108	0,071				1,871	40,082	29,14	609,1	20,45

Теперь будет описан пример реактора с множеством искровых разрядников с компактными разрядными модулями. Процесс масштабирования одиночного искрового разрядника важен, поскольку он определяет характеристики данного типа электрического разряда, используемого в многофазных реакторах. При правильном выборе параметров для одного разрядного промежутка его продуктивность может быть максимальной. В различных вариантах воплощения, все остальные разрядные промежутки должны работать одинаково и с аналогичным откликом. Это открывает путь к следующему процессу масштабирования.

ния с использованием второго способа, описанного в настоящем документе. Во втором способе использовано множество разрядных модулей для построения трехмерной матрицы реактора. Полученное устройство с различным количеством электроразрядных модулей для обработки углеводородов может быть использовано на нефтяном месторождении или на нефтеперерабатывающем заводе. Модули могут быть легко собраны для работы либо независимо в качестве реактора для обработки нефти, либо для работы в рамках существующей системы после включения в нее. Количество модулей можно относительно легко изменять в соответствии с производственными требованиями. Поиск и устранение неисправностей и замена этих модулей также проще, поскольку каждый из них не зависит от других. Данное устройство составлено из модулей. Каждый модуль может работать независимо со своим собственным регулятором потока текучей среды и блоком питания, кроме того, устройство и модуль могут иметь коллектор и быстроразъемные соединения, которые обеспечивают добавление или удаление модулей, не вызывая излишних нарушений в системе.

В различных вариантах воплощения, представленное устройство с несколькими разрядными модулями может быть встроено в систему непрерывного потока тяжелых нефтей, так что тяжелые нефти могут обрабатываться по мере их прохождения через разрядные камеры. Оно может быть расположено рядом с добывающей скважиной на нефтяном месторождении перед транспортным трубопроводом или на нефтеперерабатывающем заводе. По сути, он может работать как мобильный реактор для обработки нефти и может транспортироваться в любое место, где это необходимо. Облагороженные нефти будут транспортироваться или отгружаться, если они соответствуют техническим требованиям к трубопроводу. Газовые смеси могут быть получены из попутных газов и рециркуляционного газа из реактора.

Теперь будет описан пример масштабируемой модели с разрядными модулями. Трехмерный реактор с множеством искровых разрядников был разработан в SolidWorks и напечатан на 3D-принтере. Он содержит как механизм подачи нефти и газа, так и множество разрядных промежутков с подключением и изоляцией электродов. На фиг. 7 представлены 3-мерные изображения одного из реакторов с четырьмя искровыми разрядниками без конденсатора. На фиг. 8 представлены 3-мерные изображения аналогичного реактора с конденсатором. На фиг. 9 представлена матрица $1 \times 3 \times 3$ с 9-разрядными блоками реактора. В некоторых вариантах воплощения, она может работать как независимый разрядный модуль реактора. Каждый модуль имеет собственный вход и выход газа, вход и выход питания, а также электроды и соединения высокого напряжения. Эти функции предназначены для того, чтобы каждый модуль работал независимо.

Далее будут представлены результаты масштабирования реактора с помощью модулей. После того как каждый разрядный блок был установлен в отношении конструкции и размера, мог быть собран реактор большего размера с множеством модулей. Каждый модуль может содержать множество разрядных блоков с множеством промежутков. Производительность и мощность реактора, по меньшей мере частично, зависят от количества модулей и от расстановки разрядных блоков в модуле. Предпочтителен модуль, который мог бы работать независимо и был совместим с другими модулями, и система, которая сконструирована таким образом, чтобы, например, можно было быстро и легко добавлять или удалять модуль, не затрагивая систему. Масштабируемое устройство составлено из модулей. Каждый модуль может работать независимо со своим собственным регулятором потока текучей среды и блоком питания, кроме того, устройство и модуль могут иметь коллектор и быстроразъемные соединения, которые обеспечивают добавление или удаление модулей, не вызывая излишних нарушений в системе.

Мощность полученного реактора может зависеть от требуемой продуктивности и удельной энергии, подводимой к обрабатываемой нефти. Затем общие разрядные промежутки могут быть рассчитаны, исходя из общей мощности и мощности каждого искрового разрядника. Это может обеспечить оценку количества искровых разрядников и модулей, необходимых для облагораживания нефти при определенной продуктивности с известной удельной потребляемой энергией. Физический размер полученного реактора может зависеть от количества модулей и конфигурации модуля, которые можно оценить на основе известной информации о каждом разрядном блоке. В табл. 3 оценено количество искровых разрядников и модулей с различной производительностью, 10-1000 баррель в день и при условии, что потребляемая энергия составляет 200 кДж/кг. Эти значения основаны на балансе массы и балансе энергии в устойчивой открытой системе. Поскольку удельная потребляемая энергия и массовый расход известны на основе типичных условий экономического преобразования вводимых ресурсов в продукты, можно рассчитать мощность системы. Затем делят мощность на мощность каждого искрового разрядника, чтобы рассчитать количество искровых разрядников. Зная количество искровых разрядников на модуль, можно рассчитать количество модулей.

Таблица 3

Оценка количества искровых разрядников и модулей на основе производительности и удельного потребления энергии

Потребление энергии	Производительность	Разрядников на модуль	Количество модулей	Общая мощность	Количество разрядников	Общий объем	Общая масса	Ширина устройства	Длина устройства	Высота устройства
q	PR	GM	NM	P [Вт]	NG	V	M [фунт массы]	D_w [фут]	D_l [фут]	D_h [фут]
[кДж/кг]	[баррель/день]					[дюйм ³]				
200	10	100	16,56	3312	1656	0,004192	1110	1,29	4,019	1,247
200	100	100	165,6	33122	16561	0,04192	11404	3,971	4,019	4,052
200	500	100	828,1	165612	82806	0,2096	58825	8,9	4,019	9,039
200	1000	100	1656	331224	165612	0,4192	124275	12,59	4,019	12,78

Преимущества раскрытых иллюстративных устройств с множеством разрядных модулей включают следующее. Во-первых, модули работают как реактор для обработки нефти при атмосферном давлении и высоких температурах, для облагораживания тяжелой нефти путем преобразования тяжелых частиц в более легкие. Это менее жесткое условие обеспечивает необходимую безопасность процесса и экономит значительные капитальные затраты, используемые при экстремальных температурах и давлениях. Во-вторых, каждый модуль работает независимо от других, поэтому он очень экономичен и требует меньше времени при обслуживании реактора и замене деталей. И, в-третьих, это многомодульное устройство потенциально могло бы работать как мобильный реактор для подготовки нефти, благодаря своей конструкции. Как правило, он очень компактен, надежен и удобен в транспортировке.

В различных вариантах раскрытого способа, используется различное количество разрядных модулей в качестве реактора для обработки нефти, для обработки тяжелых нефтей. В нефтях образовывался газовый разряд, который вступает в реакцию с молекулами нефти. В отличие от лабораторной электро-разрядной камеры, используемой при риформинге углеводородов или добыче газа, в раскрытом подходе использовано множество разрядных блоков, работающих совместно как реактор для обработки нефти. В примерах вариантов воплощения, в устройстве использовано множество разрядных модулей, и количество модулей может изменяться в зависимости от способа и производственных требований. Каждый разрядный блок может использовать смесь метана и водорода для создания разряда в нефти, и характеристики разряда можно настраивать и регулировать в соответствии с требованиями к обработке нефти.

Следующий список обозначений относится к настоящему описанию: OTR - реактор для обработки нефти; r_1 - объем разряда по сравнению в объеме пузыря; r_2 - объем газовой фазы/общий объем двух фаз; r_3 - объем текучей среды по сравнению с единичным объемом; r_4 - объем текучих сред по сравнению с объемом единичного квадрата; r_5 - площадь поверхности пузырька по сравнению с общим объемом текучих сред; r_6 - общая длина пузырька по сравнению с разрядным промежутком; r_7 - степень переработки нефти; r_8 - степень переработки газа; L - длина блока; H - высота блока; W - масса блока; LPM - литров в минуту; t_{oil} - время пребывания нефти в реакторе; t_{gas} - время пребывания газа в реакторе; f - частота последовательности разрядов; L/D - отношение длины к диаметру; D/L - отношение диаметра к длине; q - удельное энергопотребление; PR - производительность; GM - промежутков на модуль; NM - количество модулей; P - общая мощность реактора; NG - количество разрядников; V - общий объем разрядников; M - общая масса разрядников; D_w - ширина устройства реактора; D_l - длина устройства реактора и D_h - высота устройства реактора.

Не ограничиваясь теорией, в любом из вышеуказанных способов или вариантов воплощения, жидкие углеводородные материалы с высоким содержанием углерода расщепляются на молекулы с более низким содержанием углерода с образованием более легких углеводородных фракций (с точки зрения как молекулярной массы, так и температуры кипения) в среднем, чем более тяжелые жидкие углеводородные материалы в сырье. Кроме того, не ограничиваясь теорией, считается, что расщепление тяжелых молекул происходит за счет разрыва связей C-C. Для этих молекул энергия, необходимая для разрыва связи C-C, составляет приблизительно 261,9 кДж/моль. Это количество энергии значительно меньше, чем энергия, необходимая для разрыва связи C-H (364,5 кДж/моль).

Свободные радикалы углеводородов притягивают атомы водорода. Таким образом, в процессе может быть использован газ-носитель в качестве источника атомов водорода. Подходящие газы-носители могут включать, помимо прочего, газы, содержащие атомы водорода. Иллюстративные газы-носители могут включать, но не ограничиваются ими, водород, метан, природный газ и другие газообразные углеводороды. В любом из вышеупомянутых вариантов воплощения может быть использована смесь таких иллюстративных газов-носителей.

Поскольку процесс должен выполняться непрерывно, различные ступени или стадии процесса могут происходить одновременно или последовательно, так что легкий углеводородный материал непрерывно подается в разрядную камеру по мере того, как полученные углеводородные фракции выходят из камеры.

Как изложено выше, иллюстративный способ может включать в себя создание плазмы искрового разряда в струе газа в межэлектродном промежутке. Напряжение пробоя газа-носителя будет меньше напряжения пробоя жидкости, соответственно можно использовать струю газа при том же уровне напряжения для создания более длинного разрядного промежутка. Увеличение межэлектродного разрядного промежутка при одновременном снижении коррозионного воздействия способа на электроды увеличивает площадь прямого контакта между плазменным разрядом и обрабатываемым жидким углеводородным материалом. Не желая ограничиваться какой-либо конкретной теорией, считается, что при контакте плазмы разряда с жидким углеводородным материалом в межэлектродном разрядном промежутке жидкий углеводородный материал может быстро нагреваться и испаряться с образованием пара. Таким образом, молекулы жидкого углеводородного материала могут смешиваться с молекулами газа-носителя и частицами плазмы, образующейся в них. Электроны плазмы могут сталкиваться с молекулами углеводородов, тем самым разбивая их на более мелкие молекулы, имеющие одну ненасыщенную связь и являющиеся по существу свободными радикалами, то есть фрагментами молекул, имеющих свободную связь. Свободные радикалы также могут возникать в результате прямого взаимодействия быстро движущихся электронов со стенками жидкости, образованными вокруг плазменного канала, установленного между электродами.

Как отмечено выше, различные газы-носители, известные в данной области техники, могут быть использованы в способах и устройствах по настоящей технологии. Примеры газов-носителей включают, помимо прочего, гелий, неон, аргон, ксенон и водород (H_2), но не ограничиваются ими. В некоторых вариантах воплощения, газ-носитель представляет собой водородсодержащий газ, включающий, помимо прочего, воду, пар, чистый водород, метан, природный газ или другие газообразные углеводороды. Смеси любых двух или более таких водородсодержащих газов могут быть использованы в любом из описанных вариантов реализации. Кроме того, газы, не содержащие водород, включая, помимо прочего, гелий, неон, аргон и ксенон, могут быть использованы либо в качестве газов-разбавителей для любого из водородсодержащих газов, либо они могут быть использованы с легкими углеводородными материалами, таким образом, позволяя свободным радикалам обрывать друг друга, а не атом водорода из газа-носителя. С точки зрения затрат энергии на образование одного свободного атома водорода, чтобы выбрать подходящий газ-носитель, можно сравнить энергию диссоциации различных газов-носителей или водородсодержащих газов. Так, например, для разрыва связи между атомами водорода в молекуле H_2 потребуется приблизительно 432 кДж/моль. Для водяного пара энергия, необходимая для высвобождения атома водорода, составляет приблизительно 495 кДж/моль, тогда как для удаления атома водорода из молекулы углеводорода, например, метана, требуется приблизительно 364,5 кДж/моль.

Согласно некоторым вариантам воплощения, газ-носитель представляет собой метан. Использование метана или природного газа выгодно не только с точки зрения энергии, необходимой для разрыва связей, но и из-за его относительно низкой стоимости. Использование метана гарантирует, что связи C-H разрываются с образованием водородного радикала и метильного радикала, каждый из которых может объединяться с более крупными углеводородными радикалами на стадии обрыва. В некоторых вариантах воплощения, газ-носитель представляет собой метан или смесь метана с инертным газом, включая, таким как гелий, аргон, неон или ксенон.

Для создания плазмы в струе газа могут быть использованы различные типы электрических разрядов. Эти разряды могут существовать как в непрерывном, так и в импульсном режиме. Например, в некоторых вариантах воплощения, эффективным является использование непрерывных разрядов, таких как дуговой разряд или тлеющий разряд. Однако использование этого типа разряда для крекинга тяжелых углеводородов может быть ограничено тем фактом, что нагрев газовой среды постоянным током может привести к нежелательному повышению температуры внутри разрядной камеры. Такое повышение температуры может привести к увеличению коксования и образования сажи. Кроме того, при использовании непрерывного разряда продукты углеводородной фракции могут постоянно подвергаться воздействию разряда до тех пор, пока они не выйдут из плазмы. Напротив, использование импульсного разряда, особенно импульсного искрового разряда, может быть желательным для цели производства фракции легких углеводородов из фракций тяжелой нефти, поскольку интервал между импульсами может обеспечить прекращение образования свободных радикалов и дает время для выхода из плазмы легких углеводородных продуктов.

В другом аспекте предложено устройство для превращения жидкой углеводородной среды в продукт углеводородной фракции. Устройство может содержать разрядную камеру для размещения элементов, обеспечивающих искровой разряд, вызывающий преобразование. Разрядная камера, а следовательно, и устройство могут содержать вход, выполненный с возможностью транспортирования жидкого углеводородного материала в разрядную камеру, выход, выполненный с возможностью транспортирования продукта углеводородной фракции из разрядной камеры, отрицательный электрод, имеющий первый конец и второй конец, и положительный электрод, имеющий первый конец и второй конец. В разрядной камере первый конец отрицательного электрода может отстоять от первого конца положительного электрода на расстоянии, которое определяет межэлектродный разрядный промежуток. Чтобы обеспечить способ смешивания жидкого углеводородного материала с газом-носителем, как описано выше, разряд-

ная камера может также содержать газовую струю, выполненную с возможностью ввода газа-носителя вблизи разрядного промежутка. Иначе говоря, газ-носитель может впрыскиваться в жидкий углеводородный материал во время или непосредственно перед впрыском в разрядный промежуток. Второй конец отрицательного электрода и второй конец положительного электрода могут быть подключены к конденсатору, и может быть предусмотрен источник питания, выполненный с возможностью создания искрового разряда в межэлектродном разрядном промежутке.

В разрядной камере искровой разряд может формироваться в межэлектродном разрядном промежутке, когда напряжение (V), приложенное к электродам, равно или больше, чем напряжение пробоя (V_b) в межэлектродном промежутке. Искровой разряд может инициироваться свободными электронами, которые обычно появляются на положительном электроде в результате автоэлектронной эмиссии или других процессов электронной эмиссии. Свободные электроны могут ускоряться в электрическом поле, охватывающем промежуток, и, когда газ в промежутке ионизируется, может создаваться искровой плазменный канал. После формирования канала искрового разряда через плазму может течь разрядный ток. Напряжение внутри плазменного канала (V_d) может быть ниже, чем напряжение пробоя (V_b). Дуговой разряд может возникать, если мощность источника питания достаточна для протекания тока в канале разряда в непрерывном режиме. В искровом разряде также может происходить нагрев плазмы. Однако регулировать температуру можно не только путем регулировки силы тока разряда, но и путем управления длительностью разряда. В некоторых вариантах воплощения, в результате создания плазменного канала в газе температура газа может достигать нескольких тысяч градусов Цельсия.

В качестве альтернативы, для создания искрового разряда можно использовать другую схему питания. В некоторых вариантах воплощения, для зажигания искровых разрядов может быть использовано большое количество различных генераторов импульсов. Например, может быть использована схема, разряжающая накопительный конденсатор предварительного заряда под нагрузкой. Параметры импульсного напряжения на нагрузке определяются емкостью накопительного конденсатора, а также параметрами всей разрядной цепи. Потери энергии будут зависеть от характеристик разрядной цепи, в частности, от потерь в переключателе.

В некоторых вариантах воплощения представленного способа, в качестве нагрузки непосредственно может быть использован искровой выключатель, то есть плазменный реактор, что снижает потери энергии в разрядной цепи. Кроме того, накопительный конденсатор может быть подключен параллельно искровому разряднику в цепи с минимальной индуктивностью. Пробой промежутка может происходить, когда напряжение на накопительном конденсаторе достигает напряжения пробоя, а подвод энергии в плазменную искру может происходить во время разряда конденсатора. Следовательно, потери энергии в цепи низкие.

Согласно различным вариантам воплощения, положительный и отрицательный электроды могут иметь форму плоских электродов, либо в виде листа, лезвия или плоского вывода, и/или электроды могут иметь форму трубки (т.е. канюлированы). Канюлированный электрод представляет собой полый электрод, через который газ-носитель может вводиться в жидкий углеводородный материал в межэлектродном промежутке. Таким образом, канюлированный электрод может служить каналом для газа-носителя. Когда отрицательный электрод канюлирован, проход канюли может иметь радиус кривизны в отверстии трубки. Высота или длина разрядного электрода обычно измеряется от основания, которое является точкой крепления, до вершины. В некоторых вариантах воплощения, отношение радиуса кривизны к высоте или длине катода может быть больше приблизительно 10.

Как отмечено выше, межэлектродный разрядный промежуток, то есть расстояние между двумя электродами, влияет на эффективность способа. Межэлектродный разрядный промежуток - это характеристика, которая может быть оптимизирована, например, на основании конкретного углеводородного материала, подаваемого в разрядную камеру, введенного газа-носителя и приложенного напряжения и/или тока. Однако могут быть установлены некоторые диапазоны межэлектродного разрядного промежутка. Например, в любом из вышеуказанных вариантов воплощения, межэлектродный разрядный промежуток может составлять приблизительно от 1-3 до 100 мм. Сюда может входить межэлектродный разрядный промежуток приблизительно от 3 до 20 мм, при использовании рабочего напряжения 30-50 кВ оптимальная длина промежутка будет от 8 до 12 мм. Отрицательный электрод и положительный электрод могут выступать в разрядную камеру.

Как указано, накопительный конденсатор может заряжаться до напряжения, равного напряжению пробоя газа-носителя или превышающего его, так что возникает искровой разряд. В некоторых вариантах воплощения, разряд возникает между положительным электродом и газом-носителем вблизи первого конца положительного электрода. В некоторых вариантах воплощения, разряд является непрерывным. В некоторых вариантах воплощения, разряд является импульсным. В некоторых вариантах воплощения, интенсивность электрического разряда регулируется значением сопротивления в цепи зарядки накопительного конденсатора.

Источник питания может быть подключен ко всей системе для обеспечения подводимой энергии для возбуждения разряда. В некоторых вариантах воплощения, в описанном в настоящем документе устройстве, может быть использован источник питания постоянного тока с рабочим напряжением

15-25 кВ. Источник питания может зависеть от количества промежутков для обработки углеводородной жидкости, от их длины, частоты следования импульсов, расхода жидкости через реактор, расхода газа через каждый промежуток и т.п. Например, устройство может содержать реактор, в котором используют 12 разрядных промежутков длиной 3,5 мм, конденсаторы емкостью 100 пФ, рабочее напряжение 18 кВ и частоту следования импульсов 5 Гц. Потребляемая мощность источника питания может составлять от 1 до 2 Вт, а плазма может поглощать мощность приблизительно 0,97 Вт непосредственно в разряде. Оставшаяся мощность может рассеиваться в конденсаторах системы зарядки.

Изолятор высокого напряжения может быть размещен в нижней части, выровненной с реактором, с помощью пластиковых винтов. Его функция заключается в предотвращении прохождения электрического тока между нижними электродами и обеспечении искры в зонах реакции. Также для предотвращения нежелательных разрядов могут потребоваться дополнительные уплотнительные кольца или прокладки между реактором и изолятором высокого напряжения.

Устройство и способы, в целом описанные выше, будут понятны со ссылкой на следующие примеры, которые никоим образом не предназначены для ограничения устройства или способов, описанных выше.

Примеры

На фиг. 17 показаны 9 модулей в модульной стойке, причем каждый модуль содержит 4 зоны плазменной реакции. Модульная стойка размещена вертикально с 2 другими стойками, образуя массивы модулей 3×3. 3 массива модулей размещены таким образом, что образуют модульную матрицу 3×3×3. Данная система имеет в общей сложности 324 зоны плазменной реакции, 81 модуль, 9 модульных стоек и 3 массива модулей.

На фиг. 11 показан модуль со встроенным конденсатором легких продуктов. На фиг. 7 показан модуль без конденсатора продукта.

Ниже на фиг. 8 представлена фотография модуля $M = 4$. На фиг. 9 приведена фотография модуля $M = 8$, заполненного жидкостью, пузырьками и с активной обработкой разрядом. На заднем плане модуля $M = 8$ находится еще один модуль $M = 8$ (сделанный из стекла) на заднем плане. На фиг. 10 показан модуль $M = 8$ со встроенным подмодулем высоковольтного источника питания.

Изобретение дополнительно определяется следующими вариантами реализации.

Вариант воплощения А. Способ увеличения масштаба плазмохимического реактора для обработки углеводородов с одиночным искровым разрядником, включающий в себя: определение набора параметров, включающего по меньшей мере один из параметров индикации продуктивности и параметров индикации масштаба, причем параметры продуктивности указывают на взаимодействие плазмы с газом и плазмы с жидкостью в многофазном реакторе, при этом параметры масштаба представляют эффективность использования пространства реактора и общий размер; разработку масштабной модели с одиночным разрядником для улучшения параметров масштаба; и проведение параметрического исследования для оценки количества искровых разрядников и информации об общей массе для искровых разрядников.

Вариант воплощения В. Способ масштабирования множества искровых разрядников с помощью реакторных модулей плазмохимического реактора для обработки углеводородов, включающий в себя использование множества реакторных модулей для создания трехмерной матрицы реактора, при этом полученное устройство содержит ряд электроразрядных модулей, выбранных в соответствии с производственными требованиями.

Вариант воплощения С. Способ согласно варианту воплощения В, дополнительно включающий в себя использование полученного устройства для обработки углеводородов на нефтяном месторождении или нефтеперерабатывающем заводе.

Вариант воплощения D. Способ согласно варианту воплощения В или С, в котором разрядные модули могут быть собраны без встраивания на месте.

Вариант воплощения E. Способ согласно любому из вариантов воплощения В-D, в котором разрядные модули разгрузки являются смонтированными на салазках или переносными.

Вариант воплощения F. Способ согласно любому из вариантов воплощения В-E, в котором полученное устройство используют независимо в качестве реактора для обработки нефти или используют в системе обработки нефти после объединения с системой обработки нефти.

Вариант воплощения G. Способ по любому из вариантов воплощения В-F, дополнительно включающий в себя размещение разрядных модулей в матрице реактора, так что выбранный столбец или ряд могут быть отключены без отключения остальных столбцов или рядов соответственно.

Вариант воплощения H. Способ согласно любому из вариантов воплощения В-G, дополнительно включающий в себя подключение матрицы реактора к внешней текучей среде и электрическим устройствам посредством быстроразъемных соединений.

Вариант воплощения I. Способ согласно любому из вариантов воплощения В-H, в котором каждый разрядный модуль передает данные от датчика на сервер в реальном времени, чтобы обеспечить удаленную диагностику и мониторинг.

Вариант воплощения J. Способ согласно любому из вариантов воплощения В-I, в котором управление газом и потоком для каждого разрядного модуля отделено от других разрядных модулей.

Вариант воплощения K. Способ согласно любому из вариантов воплощения В-J, дополнительно

включающий в себя добавление или удаление разрядного модуля при уменьшенной утечке газа или помехах.

Вариант воплощения L. Способ согласно любому из вариантов воплощения В-К, в котором уровень жидкости можно регулировать в разрядном модуле пассивным способом.

Вариант воплощения M. Способ согласно любому из вариантов воплощения В-L, дополнительно включающий в себя непрерывную работу реактора с различными ступенями или стадиями процесса, протекающими одновременно или последовательно, так что жидкий углеводородный материал непрерывно подается в разрядный реактор по мере выхода полученных углеводородных фракций из реактора.

Вариант воплощения N. Способ согласно любому из вариантов воплощения В-M, в котором углеводородные продукты содержат легкие фракции, которые нужно отделить от дистиллята и твердых веществ, образующихся в разрядном промежутке, но которые необходимо удалить из продукта.

Вариант воплощения O. Способ согласно любому из вариантов воплощения В-N, в котором для разработки матрицы используют один или более типов реакторов для обработки нефти (OTR).

Вариант воплощения P. Трехмерная матрица реактора для переработки углеводородов на нефтяном месторождении или нефтеперерабатывающем заводе, содержащая по меньшей мере три электроразрядных модуля, размещенных в матрице таким образом, что столбец или ряд разрядных модулей в матрице может быть избирательно выключен без отключения разрядных модулей, не входящих в выбранный столбец или ряд.

Вариант воплощения Q. Матрица реактора согласно варианту воплощения P, выполненная с возможностью передачи в реальном времени информации о разрядных модулях на сервер для диагностики и мониторинга в режиме реального времени.

Для целей настоящего изобретения и, если не указано иное, неопределенное количество означает "один или более".

В контексте данного документа, термин "приблизительно" будет понятен специалистам в данной области техники и будет изменяться до некоторой степени в зависимости от контекста, в котором он используется. Если имеются варианты использования термина, которые не ясны специалистам в данной области техники, учитывая контекст, в котором он используется, "приблизительно" будет означать "до" плюс или минус 10% от значения конкретной величины.

Все публикации, заявки на патенты, выданные патенты и другие документы, упомянутые в данном описании, включены в настоящий документ посредством ссылки, как если бы каждая отдельная публикация, заявка на патент, выданный патент или другой документ были специально и отдельно указаны как включенные посредством ссылки в полном объеме. Определения, содержащиеся в тексте, включенном посредством ссылки, исключаются в той степени, в которой они противоречат определениям в настоящем описании.

Варианты реализации, иллюстративно описанные в настоящем документе, могут подходящим образом применяться на практике при отсутствии какого-либо элемента или элементов, ограничения или ограничений, конкретно не раскрытых в настоящем документе. Таким образом, например, термины "содержащий", "включающий", "включающий в себя" и т.п. следует толковать широко и без ограничений. Кроме того, используемые в настоящем документе термины и выражения, имеют описательный, но неограничивающий характер, и при использовании таких терминов и выражений отсутствует намерение исключать какие-либо эквиваленты показанных и описанных признаков или их частей, но признается, что в рамках заявленного способа возможны различные изменения. Кроме того, выражение "состоящий по существу из" следует понимать, как включающий в себя те элементы, которые конкретно изложены, и те дополнительные элементы, которые существенно не влияют на основные и новые характеристики заявленного способа. Выражение "состоящий из" исключает любой неуказанный элемент.

Настоящее изобретение не ограничено конкретными вариантами воплощения, описанными в данной заявке, которые предназначены только для иллюстрации различных аспектов. Многие модификации и изменения могут быть выполнены без отклонения от его сущности и объема, что будет очевидно специалистам в данной области техники. Функционально эквивалентные составы, устройства и способы, входящие в объем настоящего изобретения, в дополнение к перечисленным в данном документе, будут очевидны специалистам в данной области техники из предшествующего описания. Предполагается, что такие модификации и изменения попадают в объем прилагаемой формулы изобретения. Настоящее изобретение должно быть ограничено только условиями прилагаемой формулы изобретения вместе с полным объемом эквивалентов, на которые такая формула изобретения имеет право. Должно быть понятно, что настоящее изобретение не ограничено конкретными способами, реагентами, составами соединений или биологическими системами, которые, естественно, могут изменяться. Также следует понимать, что используемая в настоящем документе терминология предназначена только для описания конкретных вариантов воплощения, и не предназначена для их ограничения. Кроме того, если признаки или аспекты изобретения описаны в терминах групп Маркуша, специалисты в данной области техники поймут, что изобретение, таким образом, также описывается в терминах любого отдельного члена или подгруппы членов группы Маркуша.

Как будет понятно специалисту в данной области техники, для любых и всех без исключения целей, в частности, с точки зрения представления письменного описания, все диапазоны, раскрытые в данном

документе, также охватывают любые и все возможные поддиапазоны и их комбинации. Любой перечисленный диапазон может быть вполне очевидно как достаточно описывающий и позволяющий разбить один и тот же диапазон, по меньшей мере, на равные половины, трети, четверти, пятые, десятые и т.п. В качестве не имеющего ограничительного характера примера каждый описанный в настоящем документе диапазон может быть легко разбит на нижнюю треть, среднюю треть и верхнюю треть и т.п. Как также будет понятно специалисту в данной области техники, все термины, такие как "до", "по меньшей мере", "больше, чем", "меньше, чем" и т.п., включают указанное число и относятся к диапазонам, которые впоследствии могут быть разбиты на поддиапазоны, как описано выше. Наконец, как будет понятно специалисту в данной области техники, диапазон включает каждый отдельный элемент.

Несмотря на то что были проиллюстрированы и описаны определенные варианты воплощения, следует понимать, что в них могут быть внесены изменения и модификации, выполняемые обычными специалистами в данной области техники, без отклонения от способа в его более широких аспектах, определенных в следующей формуле изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ масштабирования углеводородной обработки с помощью плазмохимического реактора, содержащего разрядные модули, каждый из которых содержит множество искровых разрядников, при этом каждый искровой разрядник подходит для использования электрических разрядов для обработки углеводородов, способ включает в себя:

(А) определение требуемой производительности, соответствующей количеству обработанных углеводородов, полученных с помощью плазмохимического реактора за некоторое время, при этом определение требуемой производительности включает:

(1) определение набора одного или более параметров, содержащего по меньшей мере один из:

(i) первого параметра (r_1) индикации продуктивности, относящегося к отношению объема газового разряда к общему объему пузырька газа в одном или более искровых разрядниках,

(ii) второго параметра (r_2) индикации продуктивности, относящегося к отношению объема газовой фазы к общему объему текучей среды в одном или более искровых разрядниках, причем r_2 соответствует задержке газа в одном или более искровых разрядниках,

(iii) третьего параметра (r_5) индикации продуктивности, относящегося к площади поверхности пузырька, деленной на общий объем текучих сред,

(iv) четвертого параметра (r_6) индикации продуктивности, относящегося к общей длине пузырька, деленной на длину разрядного промежутка,

(v) первого параметра (r_3) индикации масштаба, относящегося к отношению объема текучих сред в плазмохимическом реакторе к общему объему плазмохимического реактора,

(vi) второго параметра (r_4) индикации масштаба, относящегося к отношению объема текучих сред в плазмохимическом реакторе к объему единичного квадрата плазмохимического реактора,

(vii) третьего параметра (r_7) индикации масштаба, относящегося к степени переработки нефти, и/или

(viii) четвертого параметра (r_8) индикации масштаба, относящегося к степени переработки газа,

причем параметры индикации продуктивности относятся к взаимодействиям плазмы-газа и плазмы-жидкости в плазмохимическом реакторе, и параметры индикации масштаба относятся к эффективности использования пространства реактора и общему размеру, и

(2) определение размера разрядного модуля и количества разрядных модулей, причем указанное определение включает оценивание количества искровых разрядников и информацию об общей массе искровых разрядников на основании указанного набора одного или более параметров; и

(В) сборку в соответствии с определенными размером разрядного модуля и определенным количеством разрядных модулей трехмерной (3D) матрицы реактора разрядных модулей для переработки углеводородов с указанной производительностью.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно включает в себя (С) использование плазмохимического реактора для обработки углеводородов на нефтяном месторождении или нефтеперерабатывающем заводе.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что разрядные модули могут быть собраны без встраивания на месте.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что разрядные модули являются смонтированными на салазках или переносными.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что плазмохимический реактор используют независимо в качестве реактора для обработки нефти или используют в системе обработки нефти после объединения с системой обработки нефти.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно включает в себя размещение разрядных модулей в 3D матрице реактора, так что выбранный столбец или ряд могут быть отключены без отключения остальных столбцов или рядов соответственно.

7. Способ по п.6, отличающийся тем, что дополнительно включает в себя (D) подключение 3D матрицы реактора к внешней текучей среде и электрическим устройствам посредством быстроразъемных соединений.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что каждый разрядный модуль передает данные датчика на сервер в реальном времени, чтобы обеспечить удаленную диагностику и мониторинг.

9. Способ по п.1, отличающийся тем, что управление газом и потоком для каждого разрядного модуля отделено от других разрядных модулей.

10. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно включает в себя (E) добавление или удаление разрядного модуля при уменьшенных утечках газа или помехах.

11. Способ по п.1, отличающийся тем, что уровень жидкости можно регулировать в разрядном модуле пассивным способом.

12. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительно включает в себя (F) непрерывную работу плазмохимического реактора с различными степенями или стадиями процесса, протекающими одновременно или последовательно, так что жидкий углеводородный материал непрерывно подается в разрядный реактор по мере выхода полученных углеводородных фракций из реактора.

13. Способ масштабирования искрового разрядника для плазмохимического реактора для обработки углеводородов, включающий:

(A) определение набора параметров, включающего по меньшей мере один параметр индикации продуктивности, соответствующий взаимодействиям плазмы-газа и плазмы-жидкости в плазмохимическом реакторе, и по меньшей мере один параметр индикации масштаба, соответствующий эффективности использования пространства реактора и общему размеру, причем указанный набор параметров содержит множество из:

(1) первого параметра (r1) индикации продуктивности, соответствующего отношению объема газового разряда к общему объему пузырька газа в одном или более искровых разрядниках,

(2) второго параметра (r2) индикации продуктивности, соответствующего отношению объема газовой фазы к общему объему текучей среды в одном или более искровых разрядниках, причем r2 соответствует задержке газа в одном или более искровых разрядниках,

(3) первого параметра (r3) индикации масштаба, соответствующего отношению объема текучих сред в плазмохимическом реакторе к общему объему плазмохимического реактора,

(4) второго параметра (r4) индикации масштаба, соответствующего отношению объема текучих сред в плазмохимическом реакторе к объему единичного квадрата плазмохимического реактора,

(5) третьего параметра (r5) индикации продуктивности, соответствующего площади поверхности пузырька, деленной на общий объем текучих сред,

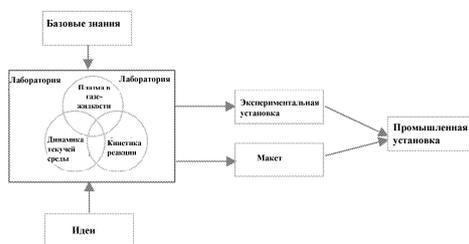
(6) четвертого параметра (r6) индикации продуктивности, соответствующего общей длине пузырька, деленной на длину разрядного промежутка,

(7) третьего параметра (r7) индикации масштаба, соответствующего степени переработки нефти, и/или

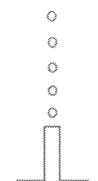
(8) четвертого параметра (r8) индикации масштаба, соответствующего степени переработки газа,

(B) разработку модели на основании указанного набора параметров для улучшения параметров масштаба так, чтобы улучшить контакт газа-жидкости относительно общего размера и веса плазмохимического реактора; и

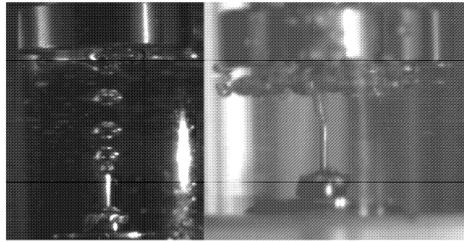
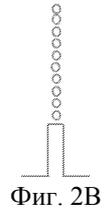
(C) проведение параметрического исследования для оценки количества искровых разрядников и информации об общей массе для искровых разрядников, чтобы определить размер реактора и количество реакторов для производительности обработанных углеводородов.



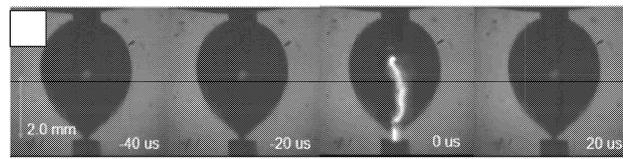
Фиг. 1



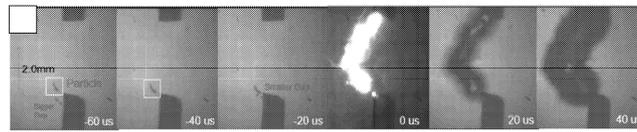
Фиг. 2А



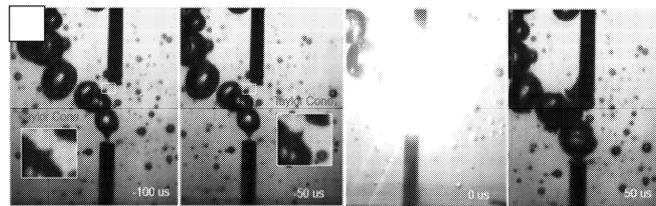
Фиг. 3



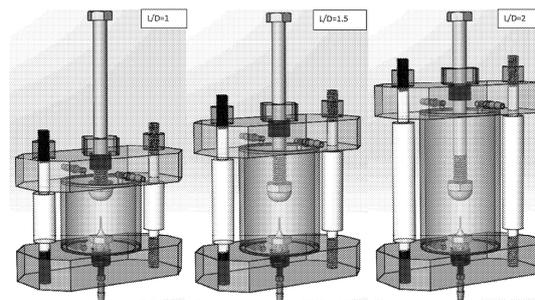
Фиг. 4А



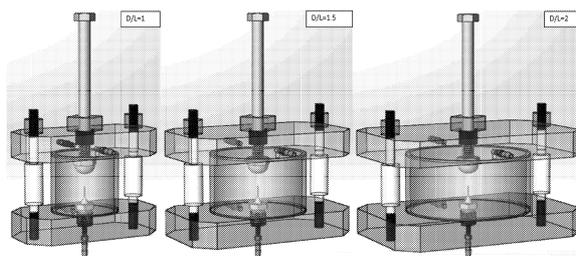
Фиг. 4В



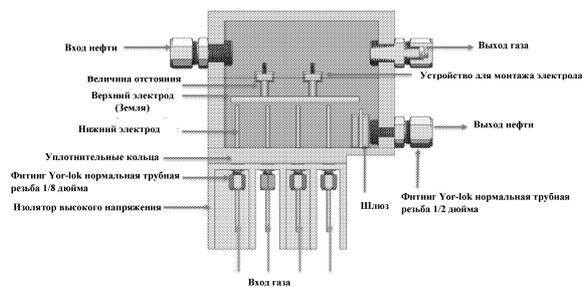
Фиг. 4С



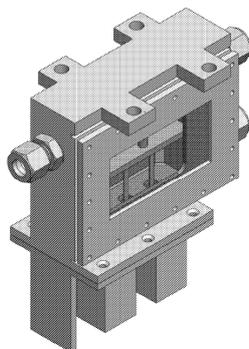
Фиг. 5



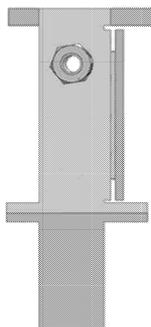
Фиг. 6



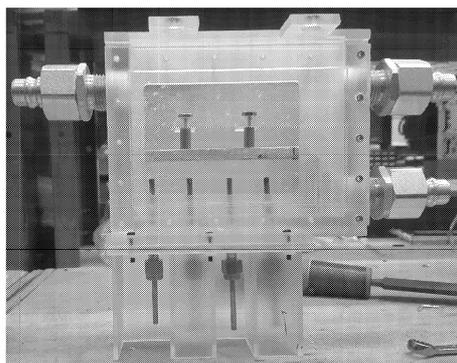
Фиг. 7А



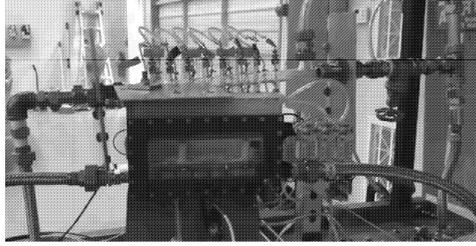
Фиг. 7В



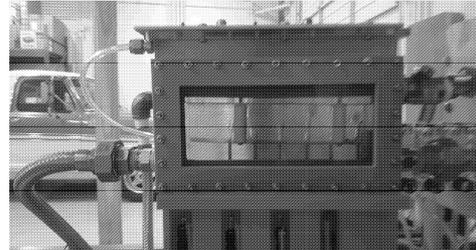
Фиг. 7С



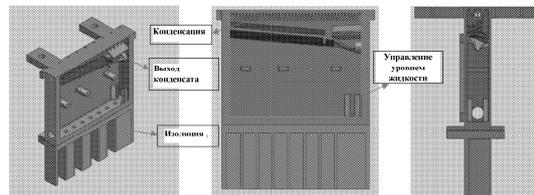
Фиг. 8



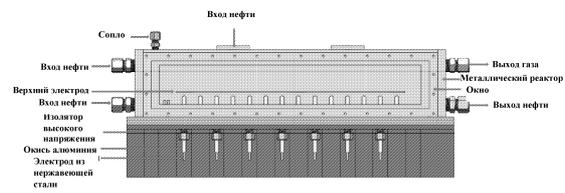
Фиг. 9



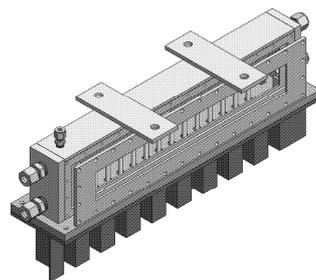
Фиг. 10



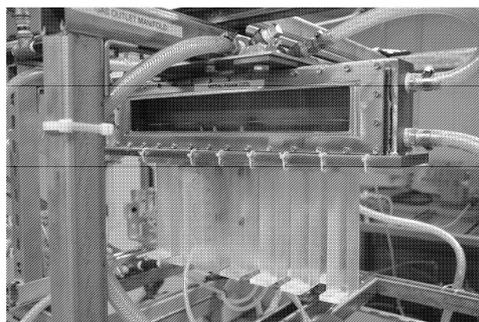
Фиг. 11



Фиг. 12А

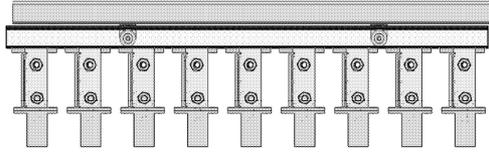


Фиг. 12В



Фиг. 13

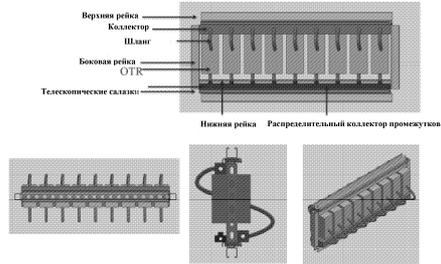
041733



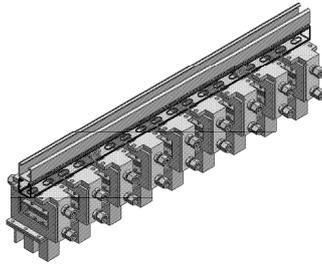
Фиг. 14



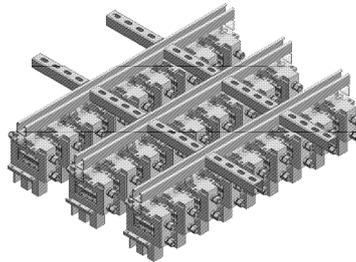
Фиг. 15



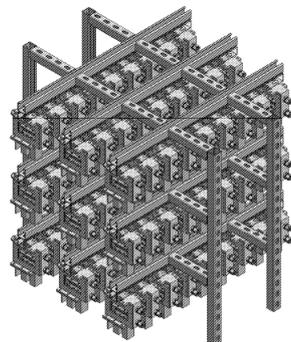
Фиг. 16



Фиг. 17

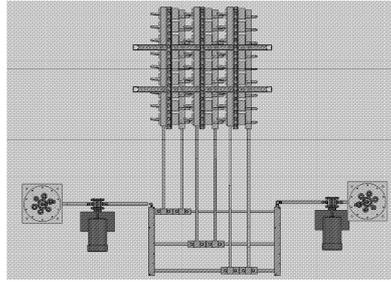


Фиг. 18

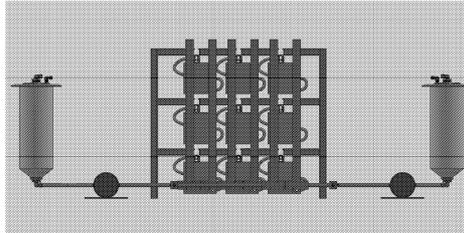


Фиг. 19

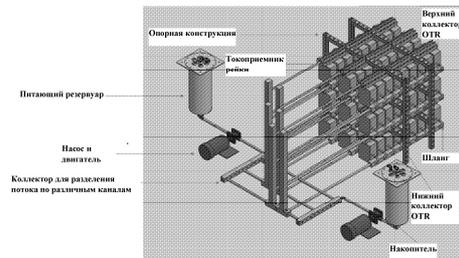
041733



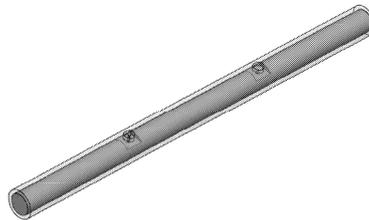
Фиг. 20А



Фиг. 20В



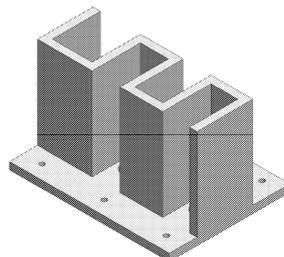
Фиг. 21



Фиг. 22

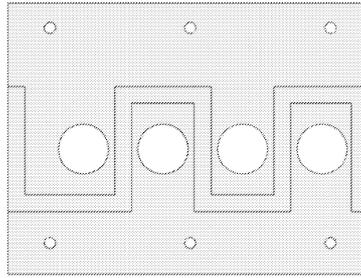


Фиг. 23

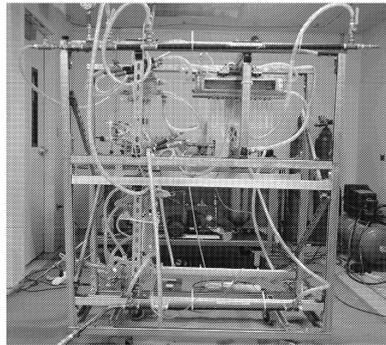


Фиг. 24А

041733



Фиг. 24В



Фиг. 25

