

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(11) 044982

(13) B1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2023.10.18

(21) Номер заявки
202092426

(22) Дата подачи заявки
2019.04.19

(51) Int. Cl. *B01J 19/08* (2006.01)
C10G 15/08 (2006.01)
C10G 47/22 (2006.01)

(54) ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ РАЗРЯД В СМЕСИ МЕТАНА И ВОДОРОДА, ПОГРУЖЕННЫХ В ЖИДКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

(31) 62/660,725

(32) 2018.04.20

(33) US

(43) 2021.04.05

(86) PCT/US2019/028342

(87) WO 2019/204742 2019.10.24

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

(56) US-A1-20160177190

WO-A1-201717302

WO-A1-2012115746

US-A-3217056

(ADKINS) PLASMA PROCESSING OF OILS USING A CORONA REACTOR; Texas A&M University Thesis; December 2014; page 10, heading 2.1.4 Plasma Chemistry; page 78, heading 5.1.2 Gas Combination of H₂ and CH₄; page 82

US-A1-20120116138

(72) Изобретатель:
Стак Дэвид, Ван Куньпэн (US)

(74) Представитель:
Нилова М.И. (RU)

(57) Предложен способ и установка для крекинга жидких углеводородных материалов во фракции легких углеводородов с использованием газа-носителя, включающего метан и водород.

B1

044982

044982

B1

Перекрестная ссылка на родственную заявку

Эта заявка испрашивает приоритет в отношении предварительной патентной заявки США № 62/660725 под названием "SUBMERGED METHANE AND HYDROGEN MIXTURE DISCHARGE IN LIQUID HYDROCARBONS", поданной 20 апреля 2018 года и введенной в данный документ путем ссылки в полном объеме.

Область техники

Настоящая технология в целом относится к высокоэффективной электрической схеме искрового разряда в газе, используемой для экономически выгодного конвертирования тяжелых жидких углеводородов в более легкие продукты.

Уровень техники

Нефтегазовая промышленность подразделяется на три хронологически работающих сектора: разведка и добыча, транспортирование и хранение, и переработка. Первый сектор включает сектор разведки и добычи. Он включает 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 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 транспортировку сырой нефти или нефтепродуктов, как правило, по трубопроводу, нефтяными танкерами, баржами, грузовиками или по железной дороге. Конечным пунктом назначения являются нефтеперерабатывающие заводы, которые затем начинают третий этап - переработку. Второй сектор также включает хранение этих продуктов, а также любые оптовые маркетинговые мероприятия. Второй этап также может включать элементы, необходимые для его функционирования из-за его промежуточного положения. Например, второй 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, как при добыче тяжелой сырой нефти и битума, так и при их транспортировке на нефтеперерабатывающие заводы возникает множество проблем, которые необходимо преодолеть. Транспортировка тяжелой сырой нефти по трубопроводу затруднена из-за ее высокой плотности и вязкости (> 1000 сП) и низкой подвижности при пластовой температуре. Кроме того, такие загрязнители, как отложения асфальтенов, тяжелые металлы, сера и минеральный раствор или соль, затрудняют транспортировку и очистку с использованием обычных способов нефтепереработки [1]. Присутствие минерального раствора или соли в тяжелой нефти приводит к коррозии трубопровода. В некоторых случаях это может привести к образованию эмульсии, такой как смесь нефть-вода, что затрудняет транспортировку [2]. Из-за большой молекулярной массы и высокой вязкости тяжелой нефти ожидается высокий перепад давления вдоль трубопровода, что делает его дорогостоящим и энергоемким. Кроме того, отложения асфальтенов осаждаются на стенках трубопроводов, уменьшая площадь поперечного сечения, доступную для потока нефти.

Поэтому, для решения этих проблем и транспортирования тяжелой нефти необходимо выполнять дополнительные процессы. Они включают:

- снижение вязкости, например, предварительным нагреванием тяжелой сырой нефти и битума и последующим нагреванием трубопровода, смешение и разбавление легкими углеводородами или растворителем. Вязкость смешанной смеси определяется добавленным разбавителем и степенью разбавления. Для разбавления тяжелой нефти требуются два трубопровода, один для нефти и другой для разбавителей, что дополнительно увеличивает затраты;

- эмульгирование с образованием эмульсии нефть в воде;

- снижение лобового сопротивления/трения (например, смазка трубопровода путем использования кольцевого режима потока, противотурбулентной присадки), и

- частичное облагораживание тяжелой сырой нефти на месте, чтобы получить синтетическую сырую нефть с улучшенной вязкостью, плотностью по шкале API (Американского института нефти) и минимальным содержанием асфальтенов, серы и тяжелых металлов [3].

Частичное облагораживание нефти включает конверсию только части остатков вакуумной перегонки и производство синтетической сырой нефти (ССН), содержащей 5-25% остатка. Эти процессы можно разработать за половину стоимости полного облагораживания, но они не запускаются в массовое производство из-за отсутствия технологии, проблем, связанных со стабильностью и экономикой ССН. Однако в таких странах, как Канада, из-за огромных запасов тяжелой сырой нефти, частичное облагораживание становится жизнеспособным вариантом. Сектор последовательной переработки является последним этапом в нефтегазовой промышленности. Он включает переработку сырой нефти и 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

бензин, керосин, реактивное топливо, дизельное топливо, топочный мазут, нефтяное топливо, смазочные материалы, парафины, асфальт, природный газ и сжиженный нефтяной газ (СНГ), а также сотни нефтехимических продуктов.

В стандартном процессе переработки нефти сырая нефть обессоливается и проходит через атмосферную перегонку, которая разделяет ее на фракции в зависимости от диапазона их точек кипения. Температура отсечки атмосферного остатка (АО) составляет приблизительно 350-360°C [4]. Фракции ниже этих температур кипения испаряются и отделяются, тогда как остаток атмосферной перегонки, содержащий более длинные углеродные цепи, требует дальнейшей перегонки при пониженном давлении и высокой температуре. Следовательно, необходим процесс вакуумной перегонки, который важен для дальнейшего облагораживания сырой нефти и извлечения нефтепродуктов. Температура отсечки вакуумного остатка (ВО) составляет приблизительно 565°C [5].

Однако, несмотря на обработки АО и ВО, нефтеперерабатывающие заводы, которые перерабатывают тяжелую нефть, все равно будут иметь значительную фракцию поступающей нефти в виде остатка (например, остаток лloydминстерской нефти составляет приблизительно 50% при температуре 460°C). Поэтому требуется еще несколько процессов для крекинга тяжелой нефти. В настоящее время известны несколько технологий крекинга сырой нефти. Из них термический крекинг считается наиболее эффективным и широко используется для превращения тяжелых углеводородов с высокой молекулярной массой в более легкие фракции с низким молекулярным весом.

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

Однако существенным недостатком применяемых в настоящее время способов синтеза легких топлив из сырой нефти являются высокие финансовые затраты, связанные с реализацией технологии. Для этих способов характерны высокие капитальные и эксплуатационные расходы. Кроме того, из-за экономии на масштабе весь термический процесс является наиболее эффективным только при большом объеме к площади поверхности. По оценкам, минимальный эффективный масштаб для нефтеперерабатывающего завода полного цикла составляет приблизительно 200 тысяч баррелей в день (MBD - mille barrels per day) сырой нефти. В частности, существующая технология 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 металла и контроль качества H₂. Водородное охрупчивание представляет собой процесс, при котором металлы, образующие гидриды, такие как титан, ванадий, цирконий, тантал и ниобий, становятся хрупкими и разрушаются из-за введения 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 фунтов на кв. дюйм). Установка для коксования топлива работает при 487-500°C (910-930°F) с типичным давлением 103,4 кПа (15 фунтов на 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 фунтов на кв. дюйм), в то время как регенератор для катализатора работает при температуре приблизительно 715°C (1320°F) и давлении приблизительно 241,3 кПа (35 фунтов на кв. дюйм) [7]. Поддержание таких рабочих условий обходится очень дорого.

Капитальные затраты на установку риформинга, такую как установка гидрокрекинга, также очень высоки. По оценкам установка гидрокрекинга требует в 5 раз больше капитальных затрат на перегонку под атмосферным давлением. Например, если установка перегонки сырой нефти производительностью 100000 баррелей в день стоит приблизительно 90 миллионов долларов, то для установки той же мощности гидрокрекинга с индексом сложности 5 потребуется 450 миллионов долларов для переработки нефти [8].

Кроме того, катализаторы, используемые в процессах флюид-каталитического крекинга (ФКК), очень чувствительны к содержанию различных примесей в сырой нефти. В частности, присутствие серы в сырой нефти приводит к быстрому разложению катализатора с потерей каталитических свойств. Таким образом, необходима предварительная обработка (обессеривание) сырья, что увеличивает долю затрат. Более того, никель, ванадий, железо, медь и другие загрязнители, присутствующие в исходном сырье для ФКК, все они оказывают негативное воздействие на активность и характеристики катализатора. Особенно проблемными являются никель и ванадий. Кроме того, удаление части циркулирующего катализатора в качестве отработанного катализатора и замена его свежим катализатором для поддержания желаемого уровня активности для технологии ФКК увеличивает эксплуатационные расходы процесса.

В плазмохимических способах используются различные типы электрических разрядов для создания

плазмы. Такие способы крекинга и риформинга нефти описаны в различных патентах и публикациях. Например, в публикации заявки на патент США № 2005/0121366 раскрыт способ и установка для риформинга нефти путем пропускания электрического разряда непосредственно через жидкость. Недостатком способа является малый ресурс электродов и связанная с этим высокая вероятность отказа искрового зажигания между этими электродами. Из-за высокого электрического сопротивления нефти расстояние между электродами должно быть очень маленьким. Например, расстояние может быть порядка 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, обработкой плазмой дугового разряда. Этот способ имеет те же недостатки, связанные с небольшим разрядным промежутком, описанным выше, и требует специального оборудования для перемешивания газа с жидкостью, а также повышенной гетерогенной суспензии. Нагревание смеси непрерывным дуговым разрядом приводит к значительным потерям энергии, повышенному образованию нагара и низкой эффективности.

В патенте России № 2452763 описан способ, в котором искровой разряд осуществляется в воде, и 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. Так происходит потому, что большая часть прямого контакта плазменного разряда с углеводородной средой исключена. Кроме того, уже сложная конструкция с использованием генератора импульсов высокого напряжения дополнительно усложняется использованием устройства для приготовления гетерогенной смеси и устройства для отделения обрабатываемой среды от воды, в которой создавался искровой разряд.

В публикации заявки на патент США № 2010/0108492 и в патенте США № 7931785 описаны способы, имеющие высокую эффективность конверсии тяжелой нефти во фракции легких углеводородов. В этих способах гетерогенная среда нефть-газ подвергается воздействию электронного пучка и несамодерживающегося электрического разряда. Однако практическое использование предлагаемого способа является проблематичным, так как помимо сложной системы приготовления гетерогенной смеси требуется ускоритель электронов с устройством вывода электронного пучка вакуумной камеры ускорителя в газожидкостную смесь 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 дополнительно увеличивает стоимость.

Плазмохимические реакторы могут быть добавлены в оборудование нефтеперерабатывающих заводов как технология облагораживания для всех видов сырья. Введение таких реакторов в процесс нефтепереработки, а не на месторождении тяжелой нефти предлагает простой и поэтапный план разработки по сравнению с реализацией его на месторождении. Это в основном связано с тем, что нефть, которая должна проходить через эти реакторы на нефтеперерабатывающих заводах, уже прошла многие предварительные обработки, такие как обезвоживание, обессоливание и атмосферная перегонка. Поэтому, весь процесс в целом будет значительно проще по сравнению с реализацией его на месторождении. Нефтеперерабатывающий завод может обеспечивать сетевое напряжение и газы-носители без дополнительных требований к их включению в процесс облагораживания. Кроме того, эти реакторы не должны будут соответствовать строгим требованиям трубопроводов к вязкости, плотности, содержанию олефинов и стабильности нефти, необходимыми на месторождении.

В перспективе для нефтеперерабатывающего завода производство требуемых дистиллятов будет увеличиваться, а нагрузка на установку для коксования и гидрокрекинга снижаться, что позволит устранить узкие места в технологической цепочке.

Раскрытие изобретения

В одном аспекте предлагается способ крекинга жидких углеводородных материалов во фракции легких углеводородов с использованием искрового разряда, способ включающий прохождение жидкого углеводородного материала через электроразрядную камеру и в межэлектродный промежуток внутри электроразрядной камеры, в которой межэлектродный промежуток образован между отрицательным электродом, имеющим первый конец и второй конец, и положительным электродом, имеющим первый конец и второй конец, при этом в электроразрядной камере первый конец отрицательного электрода отстоит от первого конца положительного электрода на расстояние, которое определяет межэлектродный промежуток. Способ дополнительно включает инжектирование газа-носителя, содержащего водород (H_2) и метан в жидкий углеводородный материал, когда он входит в межэлектродный промежуток, чтобы образовать газожидкостную углеводородную смесь; и воздействие на газожидкостную смесь током между электродами при напряжении, достаточном для возникновения искрового разряда. Второй конец отрицательного электрода и второй конец положительного электрода подсоединены к конденсатору; и конден-

сатор заряжается до напряжения, равного или превышающего напряжение пробоя газа-носителя. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель состоит из водорода (H_2) и метана. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 15% об./об. до 30% об./об. водорода. В некоторых вариантах воплощения изобретения искровой разряд является импульсным искровым разрядом.

В некоторых вариантах воплощения изобретения способ дополнительно включает извлечение фракций легких углеводородов, образующихся в результате воздействия импульсного искрового разряда на газожидкостную углеводородную смесь.

В некоторых вариантах воплощения изобретения фракции легких углеводородов имеют вязкость меньше чем 100 сантипуаз (сП). В некоторых вариантах воплощения изобретения фракции легких углеводородов имеют плотность по шкале API больше чем 30.

В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода во фракциях легких углеводородов находится в диапазоне от 2 до 2,5.

В некоторых вариантах воплощения изобретения концентрация водорода и/или метана в газе-носителе изменяется во времени в период инжектирования газа-носителя в жидкие углеводороды. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель, введенный в жидкие углеводороды, рециркулируется из газожидкостной углеводородной смеси.

В другом аспекте предлагается установка для конверсии жидкого углеводородного материала во фракцию легких углеводородов, при этом установка включает электроразрядную камеру, содержащую отрицательный электрод, имеющий первый конец и второй конец, и положительный электрод, имеющий первый конец и второй конец, при этом первый конец отрицательного электрода отстоит от первого конца положительного электрода на расстояние, которое определяет межэлектродный промежуток, и при этом второй конец отрицательного электрода и второй конец положительного электрода подсоединены к конденсатору. Установка также включает впускное отверстие для газа-носителя для подвода газа-носителя, содержащего водород и метан, к жидкому углеводородному материалу. Установка также включает впускное отверстие, предназначенное для подвода жидкого углеводородного материала в разрядную камеру. Установка также включает выпускное отверстие, предназначенное для вывода фракции легких углеводородов из камеры искрового разряда. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 15% об./об. до 30% об./об. водорода.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1: Фотография реактора обработки нефти, который используется для обработки нефти импульсным электрическим разрядом согласно возможным вариантам воплощения изобретения.

Фиг. 2: Схематическое представление реактора с электрической схемой, который используется для обработки различных типов нефти в режиме непрерывного потока согласно возможным вариантам воплощения изобретения.

Фиг. 3: Фотография образца нефти, обработанного способом и на установке настоящего изобретения, с различными смесями водорода и метана в качестве газа-носителя согласно возможным вариантам воплощения изобретения.

Фиг. 4: Фотография верхнего электрода, который используется для обработки нефти водородом и метаном, описанного здесь, согласно возможным вариантам воплощения изобретения.

Фиг. 5: График в координатах ГХ-МС, показывающий интенсивность пика в зависимости от времени для гексадекана, обработанного водородом и аргоном согласно возможным вариантам воплощения изобретения.

Подробное описание

Среди преимуществ и улучшений, которые были раскрыты, другие цели и преимущества этого изобретения могут стать очевидными из следующего описания с прилагаемыми чертежами. В данном документе раскрыты подробные варианты воплощения настоящего изобретения; однако следует понимать, что раскрытые варианты воплощения изобретения являются только иллюстративными и могут быть воплощены в различных формах. Кроме того, каждый из примеров, приведенных в связи с различными вариантами воплощения изобретения, предназначен для иллюстрации, а не для ограничения. Любые изменения и дальнейшие модификации особенностей изобретения, проиллюстрированных в настоящем документе, и любые дополнительные применения принципов, проиллюстрированных в настоящем документе, которые обычно могут возникнуть у специалиста в соответствующей области техники и владеющего этим раскрытием, следует рассматривать в рамках объема этой заявки.

Во всем описании и формуле изобретения следующие термины принимают значения, явно относящиеся к этому документу, если контекст четко не диктует иное. Фразы "в одном аспекте", "в некоторых аспектах" и тому подобное, используемые в настоящем документе, необязательно относятся к одному и тому же варианту(ам), хотя могут. Кроме того, фразы "в другом аспекте" и "в некоторых других аспектах", используемые здесь, необязательно относятся к другому аспекту (варианту воплощения изобретения), хотя могут. Таким образом, как описано ниже, различные аспекты (варианты воплощения) изобретения могут быть легко объединены без отклонения от объема или сущности изобретения.

Кроме того, в контексте данного документа, термин "или" включает союз "или" и эквивалентен

термину "и/или", если контекст явно не диктует иное. Термин "на основе" не является исключительным и допускает использование дополнительных не описанных факторов, если только контекст явно не диктует иное. Кроме того, во всем описании использование единственного числа охватывает ссылки на множественное число. Значение предлога "в" включает "в" и "на". В контексте данного документа, термин "приблизительно" очевиден специалистам в этой области техники и варьирует до некоторой степени в зависимости от контекста его использования. Если некоторые варианты использования термина неясны специалистам в данной области техники, учитывая контекст, в котором он используется, то "приблизительно" будет означать до плюс-минус 10% от конкретной величины.

Использование единственного числа в контексте описанных элементов (особенно в контексте пунктов формулы изобретения) предназначено для охвата и единственного и множественного числа, если не указано иное, или явно не противоречит контексту. Изложение диапазонов значений в настоящем документе просто предназначено служить сокращенным способом индивидуальной ссылки на каждое отдельное значение, попадающее в диапазон, если не указано иное, и каждое отдельное значение включено в описание, как если бы оно было отдельно изложено здесь. Все способы, описанные в данном документе, могут выполняться в любом подходящем порядке, если не указано иное, или явно не противоречит контексту. Использование любого и всех примеров, или типовых языковых оборотов (например, "такой как"), приведенных здесь, предназначено просто для лучшего освещения вариантов воплощения изобретения, и не означает ограничение объема формулы изобретения, если не указано иное. Никакие языковые обороты в описании не должны толковаться как указывающие на какие-либо не заявленные элементы как существенные.

В контексте данного документа, термин "жидкий углеводородный материал" относится к углеводородным соединениям и их смесям, которые находятся в жидком состоянии при атмосферных условиях. Жидкие углеводородные материалы могут, необязательно, содержать взвешенные в них твердые частицы. Жидкие углеводородные материалы могут содержать другие обычные добавки, включая, но не ограничиваясь ими, улучшители текучести, антистатические агенты, антиоксиданты, парафиновые противосажающие агенты, ингибиторы коррозии, беззольные детергенты, антидетонаторы, присадки, улучшающие воспламенение, дегазаторы, пахучие вещества, вещества, снижающие сопротивление трубопроводов, смазывающие агенты, присадки, повышающие цетановое число, усилители искрообразования, соединения для защиты седел клапанов, жидкости-носители на основе синтетических или минеральных масел и пеногасители. Типичные жидкие углеводородные материалы включают, но не ограничиваются ими, нефть; нефтепродукты, такие как сырая нефть, бензин, керосин и мазут; парафиновые углеводороды с прямой и разветвленной цепью; циклопарафиновые углеводороды; моноолефиновые углеводороды; диолефиновые углеводороды; алкеновые углеводороды; и ароматические углеводороды, такие как бензол, толуол и ксилол.

В контексте данного документа, термин "крекинг" относится к процессу, в котором происходит расщепление длинноцепных или тяжелых по массе углеводородов на легкие по массе углеводороды с более короткой цепью путем разрыва углерод-углеродных связей в исходных длинноцепных углеводородах.

В контексте данного документа, термины "Разряд", "искровой разряд", "электрический разряд" и подобные термины относятся к мгновенному электрическому разряду между двумя электродами, возникающему, когда электрическое поле создает ионизированный электропроводящий канал через обычно изолирующую среду, которая содержит газ.

В контексте данного документа, термин "Целевая подводимая энергия" относится к энергии, подводимой во время процесса, когда процесс является прибыльным, например, 200 кДж/кг. В некоторых вариантах воплощения изобретения для описанного здесь способа или установки подводимая энергия составляет приблизительно 1000 кДж/кг.

Настоящая технология относится к области превращения жидкостей, содержащих тяжелые углеводородные молекулы в легкие жидкие и/или газообразные фракции. Настоящая технология также может быть использована для крекинга жидкой тяжелой нефти во фракции легких углеводородов путем использования потока газа-носителя, который инжектируют в жидкую тяжелую нефть, чтобы образовать смесь, с последующей ионизацией смеси электрическим разрядом. Эта технология может эффективно применяться для достижения эффективной конверсии тяжелой нефти в легкие углеводороды при минимальном образовании нежелательных твердых частиц.

Электрические разряды внутри газовых пузырьков, погруженных в нефть, можно использовать для изменения химической структуры сырой нефти или других углеводородов. В зависимости от характеристик газа и свойств разряда ценность углеводорода может быть увеличена или уменьшена. Только электрические параметры, такие как низкоэнергетические и короткие импульсы высокого напряжения, иногда недостаточны для обеспечения экономически выгодного разрядного процесса. Управление газовой смесью может существенно влиять на характеристики электрического разряда и плазмохимический процесс в целом. Например, показано, что при повышении плотности по API и снижении вязкости тяжелой сырой нефти газовый разряд в метане оказывается экономически выгодным. Разряд будет генерировать реакционноспособные частицы, которые могут реагировать с жидкими углеводородами, эффективно по-

вышая общее отношение водорода к углероду в молекулах. Однако, разряды в метане могут привести к образованию нано- и микрочастиц углерода, что, как правило, нежелательно. Добавление водорода при погружном искровом разряде помогает снизить образование твердых частиц в зоне реакции. Однако, избыток водорода в газовой смеси снижает эффект снижения твердых продуктов и может отрицательно влиять на свойства углеводородов. Тщательный выбор газовой смеси обеспечивает наиболее выгодные эффекты в сочетании с узким диапазоном характеристик газового потока и электрического разряда. Этот процесс гидрирования с помощью электрического разряда применим к сырой нефти и другим промежуточным продуктам нефтепереработки, а также к другим углеводородам.

Рассматриваемый разряд в газовой смеси, погруженной в углеводороды, можно использовать в установке для облагораживания сырой нефти. Разряд в газовой смеси, погруженной в легкий углеводород, будет давать более легкие углеводородные соединения и меньше твердых веществ. Полученные вещества можно использовать как разбавитель для локального смешивания с сырьем и для снижения вязкости смеси.

Выгоды осуществления разряда в этой погруженной газовой смеси заключаются в получении более легких веществ, поскольку разбавитель производится на месте и непосредственно смешивается с сырой нефтью, в результате чего нет необходимости отдельно перекачивать разбавитель в трубопровод. Вторых, разряд в газовой смеси сводит к минимуму образование твердых частиц или вообще не дает твердых частиц. Смешанная сырая нефть лучше удовлетворяет требованиям транспортных трубопроводов. Такая конструкция обычно помогает снизить или исключить потребность во внешнем разбавителе и повысить качество производимого разбавителя. Этот особый контроль газовой смеси позволяет эффективно работать в более широком диапазоне характеристик электрического разряда и свойств нефти в данном процессе.

В различных вариантах воплощения настоящего изобретения используется разряд в смеси метана и водорода, погруженных в жидкие углеводороды. Разряд в метане, который находится в газовой фазе, относительно хорошо изучен, и он дает длинноцепные молекулы и твердые частицы. По наблюдениям разряд в смеси метана и водорода должен давать меньше твердых частиц. Однако считается, что этот механизм основан на обеспечении достаточного количества водородных радикалов для улучшения селективности реакции. Варианты воплощения изобретения объединяют механизм взаимодействия метана и водорода с короткими импульсами, погруженными в тяжелый углеводородный материал. В различных вариантах воплощения изобретения продукты могут значительно различаться с разными газаносителями; например, гексадекан, обработанный аргоном, может давать большие количества реакционноспособных частиц, которые можно идентифицировать с помощью ГХ-МС (Газовая хроматография - Масс-спектрометрия), тогда как гексадекан, обработанный водородом или метаном в аналогичных условиях, может давать значительно меньше реакционноспособных частиц.

Рассматриваемый газоразрядный блок может быть встроен в систему непрерывного потока сырой нефти, так что сырую нефть можно будет обрабатывать при прохождении ее через разрядную камеру. Он может быть расположен рядом с эксплуатационной скважиной на нефтяном месторождении перед транспортным трубопроводом. Облагороженная нефть будет транспортироваться или отгружаться, если она соответствует спецификациям трубопровода. Газовые смеси будут производиться из попутных газов, а рециркуляция будет происходить из реактора. Использование смеси метана и водорода в погружном разрядном промежутке ограничивает образование твердых веществ, когда водород добавляют к газовой смеси. Также наблюдается снижение вязкости продуктов.

Способ

В одном аспекте предлагается способ крекинга жидких углеводородных материалов на фракции легких углеводородов с использованием искрового разряда, способ включающий прохождение жидкого углеводородного материала через электроразрядную камеру и в межэлектродный промежуток внутри электроразрядной камеры, в которой межэлектродный промежуток образован между отрицательным электродом, имеющим первый конец и второй конец, и положительным электродом, имеющим первый конец и второй конец, при этом в электроразрядной камере первый конец отрицательного электрода отстоит от первого конца положительного электрода на расстояние, которое определяет межэлектродный промежуток; инжектирование газа-носителя в жидкий углеводородный материал, когда он входит в межэлектродный промежуток, чтобы образовать газожидкостную углеводородную смесь; и воздействие на газожидкостную смесь током между электродами при напряжении, достаточном для возникновения искрового разряда; при этом второй конец отрицательного электрода и второй конец положительного электрода подсоединены к конденсатору. В некоторых вариантах воплощения изобретения конденсатор заряжается до напряжения, равного или превышающего напряжение пробоя газа-носителя. В некоторых вариантах воплощения изобретения жидкий углеводородный материал включает сырую нефть. В некоторых вариантах воплощения изобретения жидкий углеводородный материал включает, но не ограничивается ими, парафины, ароматические соединения, нафены, циклоалканы, алкены, диены и алкины. Жидкий углеводородный материал можно характеризовать общим количеством атомов углерода (С) и/или количеством одинарных (С-С), двойных(С=С) или тройных (С≡С) связей между атомами углерода.

Множество углеводородных газов можно использовать для получения плазмы. Использование ме-

тана или природного газа выгодно не только с точки зрения энергии, необходимой для разрыва связей, но также из-за его относительной низкой стоимости. Использование метана обеспечивает разрыв связей С-Н с образованием водородного радикала и метильного радикала, каждый из которых может объединяться с более крупными углеводородными радикалами на стадии обрыва цепи.

Неводородсодержащие газы, такие как азот, гелий, неон, аргон и ксенон можно использовать с газами-донорами водорода в разрядном промежутке. Они могут изменять распределение электрического потенциала и колебательной температуры молекул в плазме, позволяя свободным радикалам взаимодействовать друг с другом с обрывом цепи, а не с атомом водорода от донора водорода. В различных вариантах воплощения изобретения, тип продуктов и селективность продукта могут быть изменены за счет использования неводородного газа. Вода и аммиак также могут служить донорами водорода в процессе, если только они не содержат элементы азота N и кислорода O, которые могут быть несовместимы с существующей системой нефтепереработки. Хотя существует вероятность того, что их можно было бы использовать как газы-доноры водорода с другой системой, которая также использует технологию импульсного электрического разряда.

В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит один или более из следующего: C₁-C₃ углеводород, природный газ, аммиак, вода, азот (N₂), гелий, аргон, неон, криптон и ксенон. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель включает газ с донором водородной связи. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 0,1% об./об. до 5% об./об. инертного газа. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 0,2% об./об. до 3% об./об. инертного газа. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 0,5% об./об. до 2% об./об. инертного газа. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 0,75% об./об. до 1,5% об./об. инертного газа. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 0,9% об./об. до 1,1% об./об. инертного газа.

В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит водород (H₂) и метан (CH₄). В некоторых вариантах воплощения изобретения мольное отношение водорода (H₂) к метану находится в диапазоне от 1:99 до 99:1. В некоторых вариантах воплощения изобретения мольное отношение водорода к метану находится в диапазоне от 5:95 до 95:5. В некоторых вариантах воплощения изобретения мольное отношение водорода к метану находится в диапазоне от 10:90 до 50:50. В некоторых вариантах воплощения изобретения мольное отношение водорода к метану находится в диапазоне от 15:85 до 40:60. В некоторых вариантах воплощения изобретения мольное отношение водорода к метану находится в диапазоне от 20:80 до 35:65. В некоторых вариантах воплощения изобретения мольное отношение водорода к метану находится в диапазоне от 25:75 до 30:70. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 5 до 40% об./об. H₂. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 10 до 35% об./об. H₂. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 15 до 30% об./об. H₂. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 20 до 25% об./об. H₂.

В некоторых вариантах воплощения изобретения мольное отношение водорода к метану в инжектируемом газе-носителе изменяется во времени. В некоторых вариантах воплощения изобретения водород и метан в инжектируемом газе предварительно смешивают. В некоторых вариантах воплощения изобретения водород и метан инжектируются отдельно. В некоторых вариантах воплощения изобретения инжектируемые водород и метан инжектируются отдельно, и скорости при которых они инжектируются, являются независимыми и необязательно изменяются во времени. В некоторых вариантах воплощения изобретения инжектируемый газ-носитель рециркулируется из газожидкостной углеводородной смеси.

В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель инжектируют в жидкий углеводородный материал со скоростью от 0,005 л/мин до 0,15 л/мин. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель инжектируют в жидкий углеводородный материал со скоростью от 0,01 л/мин до 0,1 л/мин. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель инжектируют в жидкий углеводородный материал со скоростью от 0,012 л/мин до 0,075 л/мин. В некоторых вариантах воплощения изобретения метан инжектируют со скоростью от 0,01 л/мин до 0,07 л/мин. В некоторых вариантах воплощения изобретения метан инжектируют со скоростью от 0,014 л/мин до 0,06 л/мин. В некоторых вариантах воплощения изобретения метан инжектируют со скоростью от 0,019 л/мин до 0,05 л/мин. В некоторых вариантах воплощения изобретения метан инжектируют со скоростью от 0,02 л/мин до 0,04 л/мин. В некоторых вариантах воплощения изобретения водород (H₂) инжектируют со скоростью от 0,02 л/мин до 0,07 л/мин. В некоторых вариантах воплощения изобретения водород (H₂) инжектируют со скоростью от 0,03 л/мин до 0,05 л/мин. В некоторых вариантах воплощения изобретения водород (H₂) инжектируют со скоростью от 0,04 л/мин до 0,045 л/мин. В некоторых вариантах воплощения изобретения искровой разряд является импульсным искровым разрядом с частотой импульсов. В некоторых вариантах воплощения изобретения частота импульсов находится в диапазоне 100-200 Гц. В некоторых вариантах воплощения изобретения частота импульсов находится в диапазоне 15-20 Гц. В некоторых вариантах воплощения изобретения частота импульсов находится в диапазоне 10-15 Гц. В некоторых вариантах воплощения изобретения частота импульсов находится в диапазоне 5-10 Гц. В некоторых вариантах воплощения изобретения частота импульсов находится в диапазоне 1-5 Гц. В некоторых вариантах вопло-

шения изобретения искровой разряд является непрерывным. В различных вариантах воплощения изобретения частота импульсов может быть связана с масштабированием процесса.

В некоторых вариантах воплощения изобретения способ дополнительно включает анализ жидкого углеводорода после искрового разряда. В некоторых вариантах воплощения изобретения способ дополнительно включает анализ фракций легких углеводородов. В некоторых вариантах воплощения изобретения анализ является колориметрическим анализом. В некоторых вариантах воплощения изобретения способом анализа является газовая хроматография (ГХ)/масс-спектрометрия (МС) (ГХМС или ГХ-МС). В некоторых вариантах воплощения изобретения газовая хроматография с пламенно-ионизационным детектором (ГХ-ПИД) является способом анализа. В некоторых вариантах воплощения изобретения способ дополнительно включает сбор фракций легких углеводородов. В некоторых вариантах воплощения изобретения фракции легких углеводородов собирают путем перегонки.

Со ссылкой на фиг. 5 один пример включает разряд в гексадекане с водородом и аргоном. Аргон в качестве газа-носителя может значительно изменять продукты путем создания более реакционноспособных частиц, которые способны сильно взаимодействовать в колонке ГХ и затем идентифицироваться МС. Эти реакционноспособные частицы могут быть углеводородными кислотами или радикалами, которые могут не идентифицироваться системой ГХ-МС. Метан или водород в качестве газа-носителя может давать менее реакционноспособные частицы. Этот способ также может включать анализ селективности и качества продуктов. В некоторых вариантах воплощения изобретения способ включает анализ циклических или разветвленных углеводородных продуктов. В некоторых вариантах воплощения изобретения анализ дополнительно включает анализ селективности продуктов.

В некоторых вариантах воплощения изобретения фракции легких углеводородов имеют вязкость от 0,5 до 100 сП. В некоторых вариантах воплощения изобретения фракции легких углеводородов имеют вязкость от 0,5 до 10 сП. В некоторых вариантах воплощения изобретения фракции легких углеводородов имеют плотность по шкале API от 25 до 60. В некоторых вариантах воплощения изобретения фракции легких углеводородов имеют плотность по шкале API от 40 до 60.

В некоторых вариантах воплощения изобретения фракции легких углеводородов имеют молекулярную массу от 60 г/моль до 320 г/моль. В некоторых вариантах воплощения изобретения жидкий углеводородный материал включает массу от 1 г до 5 г. В некоторых вариантах воплощения изобретения жидкий углеводородный материал включает массу от 5 г до 10 г. В некоторых вариантах воплощения изобретения жидкий углеводородный материал включает массу от 10 г до 15 г. В некоторых вариантах воплощения изобретения жидкий углеводородный материал включает массу от 15 г до 25 г. В некоторых вариантах воплощения изобретения жидкий углеводородный материал включает массу от 25 г до 35 г. В некоторых вариантах воплощения изобретения жидкий углеводородный материал включает массу больше 35 г. В некоторых вариантах воплощения изобретения жидкий углеводородный материал включает массу больше 100 г. В некоторых вариантах воплощения изобретения жидкий углеводородный материал включает массу больше 1 кг. В некоторых вариантах воплощения изобретения жидкий углеводородный материал включает массу больше 100 кг. В некоторых вариантах воплощения изобретения жидкий углеводородный материал включает массу больше 1000 кг. В некоторых вариантах воплощения изобретения жидкий углеводородный материал включает массу больше 10000 кг. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода во фракции легких углеводородов находится в диапазоне от 2,01 до 2,05. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,05 до 2,1. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,1 до 2,2. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,2 до 2,3. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,3 до 2,4. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,4 до 2,5. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,5 до 2,6. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,6 до 2,7. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,7 до 2,8. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,8 до 2,9. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,9 до 3,0. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 3,0 до 3,1. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 3,1 до 3,2. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 3,2 до 3,3. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к ато-

тения конденсатор заряжается до напряжения от 20 кВ до 80 кВ. В некоторых вариантах воплощения изобретения конденсатор заряжается до напряжения от 30 кВ до 50 кВ. В некоторых вариантах воплощения изобретения напряжение пробоя газа-носителя составляет от 10 кВ до 100 кВ. В некоторых вариантах воплощения изобретения напряжение пробоя газа-носителя составляет от 10 кВ до 40 кВ. Не ограничиваясь теорией, в любом из раскрытых способов или вариантов воплощения изобретения жидкие углеводородные материалы с высоким содержанием углерода расщепляются на молекулы, имеющие более низкое содержание углерода, с образованием фракций легких углеводородов, которые являются более легкими (с точки зрения, как молекулярной массы, так и точки кипения) в среднем, чем тяжелые жидкие углеводородные материалы в исходном сырье. И снова, не ограничиваясь теорией, полагают, что расщепление тяжелых молекул происходит через разрыв С-С связей. Для этих молекул энергия, требуемая для разрыва С-С связи, составляет приблизительно 261,9 кДж/моль. Это количество энергии значительно ниже, чем требуется для разрыва С-Н связи (364,5 кДж/моль). Поскольку процесс должен протекать непрерывно, различные стадии или этапы способа могут происходить одновременно или последовательно, так что жидкий углеводородный материал непрерывно подается в электроразрядную камеру, по мере того, как готовые фракции легких углеводородов выходят из камеры.

В некоторых вариантах воплощения изобретения способ включает создание плазмы искрового разряда в струе газа в межэлектродном разрядном 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 процесса на электроды увеличивает площадь прямого контакта между плазменным разрядом и жидким углеводородным материалом. Не желая ограничиваться какой-либо конкретной теорией, полагают, что при контакте плазмы искрового разряда с жидким углеводородным материалом в межэлектродном разрядном промежутке жидкий углеводородный материал быстро нагревается и испаряется с образованием пара. Таким образом, молекулы жидкого углеводородного материала смешиваются с молекулами газа-носителя и частицами плазмы, образованной в них. Электроны плазмы сталкиваются с молекулами углеводородов, таким образом разрывая их на более мелкие молекулы, имеющие одну ненасыщенную связь и будучи практически свободными радикалами, то есть являющиеся фрагментами молекул со свободной связью. Свободные радикалы также возникают в результате прямого взаимодействия быстро движущихся электронов со стенками жидкости, образованными вокруг плазменного канала между электродами. Различные газы-носители, известные в этой области техники, можно использовать в способах и установках настоящей технологии. Типичные газы-носители включают, но не ограничиваются ими, гелий, неон, аргон, ксенон и водород (H_2), среди прочих газов. В некоторых вариантах воплощения изобретения газом-носителем является водородсодержащий газ, такой как, но не ограничиваясь этим, вода, пар, чистый водород, метан, природный газ или другие газообразные углеводороды. Смеси из двух или более таких водородсодержащих газов можно использовать в любом из описанных вариантов воплощения изобретения. Кроме того, неводород-содержащие газы, такие гелий, неон, аргон и ксенон можно использовать или как разбавители газов для любого из водородсодержащих газов, или их можно использовать с жидкими углеводородными материалами, таким образом позволяя свободным радикалам обрывать цепь друг с другом вместо обрыва с атомом водорода из газа-носителя. Чтобы выбрать подходящий газ-носитель с точки зрения затрат энергии на образование одного свободного атома водорода, необходимо 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, такого как метан, требуется приблизительно 364,5 кДж/моль.

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

В некоторых вариантах воплощения изобретения искровые разряды могут создаваться как в непрерывном режиме, так и в импульсном режиме. В некоторых вариантах воплощения изобретения непрерывным разрядом является дуговой разряд или тлеющий разряд. Однако, использование этого типа разряда для крекинга тяжелых углеводородов может быть ограничено тем фактом, что нагревание газовой смеси непрерывным пропусканием тока может привести к нежелательному повышению температуры внутри электроразрядной камеры. Такое повышение температуры может привести к увеличению коксования и образования нагара. Кроме того, при использовании непрерывного разряда продукты углеводородной фракции постоянно подвергаются воздействию разряда до тех пор, пока они не выйдут из плазмы. В отличие от этого, использование импульсного разряда, особенно импульсного искрового разряда,

может быть желательным для цели производства фракции легких углеводородов из фракций тяжелой нефти, поскольку интервал между импульсами позволяет прекратить образование свободных радикалов и дает время образующемуся легкому углеводороду выйти из плазмы.

Установка

В другом аспекте предлагается установка для конверсии жидкого углеводородного материала во фракцию легких углеводородов, при этом установка включает камеру искрового разряда, включающую отрицательный электрод, имеющий первый конец и второй конец, и положительный электрод, имеющий первый конец и второй конец. Первый конец отрицательного электрода отстоит от первого конца положительного электрода на расстояние, которое определяет межэлектродный промежуток. Второй конец отрицательного электрода подсоединен к конденсатору. Установка включает впускное отверстие для газа-носителя для подвода газа-носителя к жидкому углеводородному материалу. Установка также включает впускное отверстие, предназначенное для ввода жидкого углеводородного материала в камеру искрового разряда и выпускное отверстие, предназначенное для вывода фракции легких углеводородов из камеры искрового разряда. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит один или более из следующего: C_1 - C_3 углеводород, природный газ, аммиак, вода, азот (N_2), гелий, аргон, неон, криптон и ксенон. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель включает газ с донором водородной связи. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 0,1% об./об. до 5% об./об. инертного газа. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 0,2% об./об. до 3% об./об. инертного газа. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 0,5% об./об. до 2% об./об. инертного газа. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 0,75% об./об. до 1,5% об./об. инертного газа. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 0,9% об./об. до 1,1% об./об. инертного газа.

В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит водород (H_2) и метан (CH_4). В некоторых вариантах воплощения изобретения мольное отношение водорода к метану находится в диапазоне от 1:99 до 99:1. В некоторых вариантах воплощения изобретения мольное отношение водорода к метану находится в диапазоне от 5:95 до 95:5. В некоторых вариантах воплощения изобретения мольное отношение водорода к метану находится в диапазоне от 10:90 до 50:50. В некоторых вариантах воплощения изобретения мольное отношение водорода к метану находится в диапазоне от 15:85 до 40:60. В некоторых вариантах воплощения изобретения мольное отношение водорода к метану находится в диапазоне от 20:80 до 35:65. В некоторых вариантах воплощения изобретения мольное отношение водорода к метану находится в диапазоне от 25:75 до 30:70. В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 5 до 40% об./об. H_2 . В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 10 до 35% об./об. H_2 . В некоторых вариантах воплощения изобретения газ-носитель содержит от 15 до 30% об./об. H_2 . В некоторых вариантах воплощения изобретения фракции легких углеводородов имеют вязкость от 0,5 до 100 сП. В некоторых вариантах воплощения изобретения фракции легких углеводородов имеют вязкость от 0,5 до 10 сП.

В некоторых вариантах воплощения изобретения фракции легких углеводородов имеют плотность по шкале API от 25 до 60. В некоторых вариантах воплощения изобретения фракции легких углеводородов имеют плотность по шкале API от 40 до 60.

В некоторых вариантах воплощения изобретения легкие углеводороды имеют молекулярную массу от 60 г/моль до 320 г/моль.

В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода во фракции легких углеводородов находится в диапазоне от 2,01 до 2,05. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,05 до 2,1. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,1 до 2,2. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,2 до 2,3. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,3 до 2,4. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,4 до 2,5. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,5 до 2,6. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,6 до 2,7. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,7 до 2,8. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,8 до 2,9. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах находится в диапазоне от 2,9 до 3,0. В некоторых вариантах воплощения изобретения среднее отношение атомов водорода к атомам углерода в легких углеводородах

В электроразрядной камере искровой разряд создается в межэлектродном зарядном промежутке, когда на электроды подается напряжение (V), равное или превышающее напряжение пробоя (V_b) межэлектродного промежутка. Искровой разряд инициируется свободными электронами, которые могут появляться на положительном электроде путем автоэлектронной эмиссии или путем других процессов электронной эмиссии. Свободные электроны ускоряются в электрическом поле, простирающемся по промежутку, и, когда газ в промежутке ионизируется, возникает плазменный канал искрового разряда. После создания канала искрового разряда через плазму течет разрядный ток. Напряжение внутри плазменного канала (V_d) ниже напряжения пробоя (V_b).

В некоторых вариантах воплощения изобретения дуговой разряд создается, когда источника питания достаточно для протекания тока в разрядном канале в непрерывном режиме. Нагрев плазмы имеет место в искровом разряде. В некоторых вариантах воплощения изобретения температура регулируется путем регулировки силы разрядного тока. В некоторых вариантах воплощения изобретения температура регулируется продолжительностью разряда. В определенных вариантах воплощения изобретения в результате плазменного канала, созданного в газе-носителе, температура газа-носителя достигает нескольких тысяч °C.

В некоторых вариантах воплощения изобретения для зажигания искровых разрядов, используются различные генераторы импульсов. В некоторых вариантах воплощения изобретения может использоваться схема, разряжающая предварительный заряд накопительного конденсатора под нагрузкой. Параметры импульсного напряжения при нагрузке определяются емкостью конденсатора, а также параметрами всей разрядной цепи. Потери энергии будут зависеть от характеристик разрядной цепи, в частности, от потерь в искровом разряднике. В некоторых вариантах воплощения настоящей технологии, искровой разрядник прямо используется в качестве нагрузки, то есть плазменного реактора, таким образом снижая потери энергии в разрядной схеме. Кроме того, накопительный конденсатор может быть подключен параллельно искровому промежутку в цепи с минимальной индуктивностью. Пробой разрядного промежутка происходит, когда напряжение на накопительном конденсаторе достигает напряжения пробоя, а подвод энергии в плазму искрового разряда происходит во время разряда конденсатора. Следовательно, потери энергии в этой схеме являются низкими.

В любом из вышеописанных вариантов воплощения изобретения положительный электрод может иметь форму плоского электрода, например, листа, полотна, или плоского вывода, тогда как отрицательный электрод имеет форму трубки, то есть является канюлированным. Отрицательный канюлированный электрод является полым электродом, через который газ-носитель может быть инжектирован в жидкий углеводородный материал в межэлектродном промежутке. Таким образом, отрицательный канюлированный электрод может служить каналом для газа-носителя. Когда отрицательный электрод является канюлированным, то проход полой трубки будет иметь радиус кривизны в отверстии трубки. Высота или длина разрядного электрода обычно измеряется от основания, которое является точкой его присоединения, до вершины. В некоторых вариантах воплощения изобретения отношение радиуса кривизны к высоте или длине катода может быть больше чем приблизительно 10.

Межэлектродный разрядный промежуток, то есть расстояние между двумя электродами, влияет на эффективность процесса. Межэлектродный разрядный промежуток является характеристикой, которую можно оптимизировать, на основе, например, конкретного жидкого углеводородного материала, подаваемого в разрядную камеру, инжектированного газа-носителя и приложенного напряжения и/или тока.

В некоторых вариантах воплощения изобретения расстояние межэлектродного промежутка составляет от приблизительно 1 мм до 100 мм. В некоторых вариантах воплощения изобретения расстояние межэлектродного промежутка составляет от 3 мм до 20 мм. В некоторых вариантах воплощения изобретения расстояние межэлектродного промежутка составляет от 6 мм до 15 мм. В некоторых вариантах воплощения изобретения расстояние межэлектродного промежутка меньше чем 10 мм. В некоторых вариантах воплощения изобретения расстояние межэлектродного промежутка меньше чем 5 мм. В некоторых вариантах воплощения изобретения расстояние межэлектродного промежутка меньше чем 1 мм. В некоторых вариантах воплощения изобретения расстояние межэлектродного промежутка равно приблизительно 4 мм.

В некоторых вариантах воплощения изобретения конденсатор заряжается до напряжения от 10 кВ до 100 кВ. В некоторых вариантах воплощения изобретения конденсатор заряжается до напряжения от 20 кВ до 80 кВ. В некоторых вариантах воплощения изобретения конденсатор заряжается до напряжения от 30 кВ до 50 кВ. Отрицательный электрод и положительный электрод могут оба выступать в электро-разрядную камеру.

В некоторых вариантах воплощения изобретения конденсатор может заряжаться до напряжения, равного или превышающего напряжение пробоя газа-носителя, так что происходит образование искрового разряда. В некоторых вариантах воплощения изобретения искровой разряд имеет место между положительным электродом и газом-носителем вблизи первого конца положительного электрода. В некоторых вариантах воплощения изобретения искровой разряд является непрерывным. В других вариантах воплощения изобретения искровой разряд является импульсным. В некоторых вариантах воплощения изобретения скорость искрового разряда регулируется величиной сопротивления в зарядном контуре

накопительного конденсатора.

В некоторых вариантах воплощения изобретения искровой разряд является импульсным искровым разрядом с частотой импульсов. В некоторых вариантах воплощения изобретения частота импульсов находится в диапазоне 15-20 Гц. В некоторых вариантах воплощения изобретения частота импульсов находится в диапазоне 10-15 Гц. В некоторых вариантах воплощения изобретения частота импульсов находится в диапазоне 5-10 Гц. В некоторых вариантах воплощения изобретения частота импульсов находится в диапазоне 1-5 Гц. В некоторых вариантах воплощения изобретения искровой разряд является непрерывным.

В некоторых вариантах воплощения изобретения ко всей системе подсоединен источник питания, обеспечивающий подвод энергии, необходимый для возбуждения искрового разряда. В некоторых вариантах воплощения изобретения источником питания является источник питания постоянного тока. В некоторых вариантах воплощения изобретения источник питания постоянного тока имеет рабочее напряжение 15-25 кВ. Источник питания зависит от количества разрядных промежутков для обработки углеводородной жидкости, их длины, частоты следования импульсов, скорости потока жидкости через реактор, скорости потока газа через каждый разрядный промежуток.

В некоторых вариантах воплощения изобретения установка может включать реактор, в котором используются искровые разрядные промежутки длиной приблизительно 3,5 мм, конденсаторы емкостью приблизительно 100 пикофард с рабочим напряжением приблизительно 18 кВ и частотой следования импульсов приблизительно 5 Гц. Источник питания может потреблять от 1 до 2 Вт, тогда как плазма может поглощать мощность приблизительно 0,97 Вт прямо в разряде. Оставшаяся энергия может рассеиваться в системе зарядки конденсаторов. В некоторых вариантах воплощения изобретения резервуар или трубопроводная система может соединять впускное отверстие для жидкого углеводородного материала с источником жидкого углеводородного материала, и резервуар или трубопроводная система может быть соединена с первым выпускным отверстием для сбора продуктов фракции легких углеводородов. Продукты фракции легких углеводородов могут быть подвергнуты дальнейшей переработке путем разделения перегонкой компонентов с более низкой молекулярной массой, при этом компоненты с более высокой молекулярной массой возвращаются к впускному отверстию для возможной дальнейшей обработки в электроразрядной камере. Система улавливания газа может быть подключена к выпускному отверстию установки, что позволяет улавливать углеводородные газы с низкой молекулярной массой и/или газы-носители, причем последние рециркулируют для повторного инжектирования в качестве газа-носителя, а первые собирают для другого использования.

Установка может быть приспособлена к любому конкретному режиму обработки жидких углеводородных материалов. Такая адаптивная гибкость обеспечивает легкий контроль над переработкой сырой нефти, которая может различаться широким диапазоном составов и примесей. Управление технологическими условиями крекинга жидких углеводородных материалов возможно путем изменения лишь нескольких рабочих параметров. Например, такие параметры могут включать изменения длины разрядного промежутка и/или приложенного напряжения (В). Повышение напряжения может приводить к увеличению накопленной на конденсаторе энергии пропорционально квадрату напряжения $W=CV^2/2$. Изменение емкости конденсатора прямо пропорционально изменению энергии W , подводимой к разряду.

Управление частотой следования импульсов может быть достигнуто посредством манипулирования емкостью и сопротивлением схемы. В некоторых вариантах воплощения изобретения частота следования импульсов составляет от приблизительно 1 до приблизительно 10 импульсов в секунду. В других вариантах воплощения изобретения частота следования импульсов составляет от приблизительно 2 до приблизительно 7 импульсов в секунду. В любом из вышеописанных вариантов воплощения изобретения частота следования импульсов составляет от приблизительно 3 до приблизительно 5 импульсов в секунду.

В любом из вариантов воплощения изобретения искровой разряд можно регулировать путем изменения скорости инжектирования газа-носителя или жидких углеводородных материалов. В некоторых вариантах воплощения изобретения искровой разряд регулируют путем управления временем обработки жидких углеводородов и продуктов углеводородной фракции в электроразрядной камере.

В некоторых вариантах воплощения изобретения в межэлектродном промежутке могут формироваться потоки или струи газа-носителя различного диаметра в зависимости от скорости потока газа и вязкости жидкого углеводородного материала или фракций легких углеводородов. В некоторых вариантах воплощения изобретения плазма искрового разряда не находится в прямом контакте с жидким углеводородным материалом из-за газовой струи большого диаметра, если она формируется при высокой скорости потока газа-носителя. В вариантах воплощения изобретения с низкой скоростью потока газа-носителя, диаметр газовой струи сопоставим с диаметром канала искрового разряда. В таких вариантах воплощения изобретения происходит интенсивное взаимодействие между плазмой разряда и окружающей жидкостью. Интенсивное взаимодействие указывает на то, что площадь контакта плазменного канала с жидкостью максимально увеличена.

Способ и установка, описанные в данном документе, обеспечивают несколько преимуществ по сравнению с другими известными способами. Например, в известном в настоящее время способе, пред-

ставленном в патенте США № 5626726, используется гетерогенная смесь жидкости и газа, в которой создается дуга. В вариантах воплощения предлагаемой технологии, для реализации искрового разряда используется струя газа, распространяющаяся в жидкости. Более того, для пробоя разрядного промежутка в гетерогенной смеси требуется высокая напряженность электрического поля, для чего в патенте '726 использовались короткие разрядные промежутки. Короткие разрядные промежутки и связанная с этим длительная работа электрических разрядов приводит к износу электродов разрядных промежутков с одновременным увеличением длины промежутка и напряжения пробоя. При фиксированном рабочем напряжении с увеличением длины разряд в промежутке уменьшается и в конечном итоге прекращается. В отличие от этого, в технологии, согласно настоящему изобретению, поскольку электрический пробой происходит в газе, для которого электрическое поле пробоя значительно ниже, чем у жидкости (например, нефти), более длинные разрядные промежутки можно использовать для того же значения рабочего напряжения. Благодаря возможности использовать более длинные разрядные промежутки, повышение напряжения пробоя мало влияет на электроды, поэтому зажигание разряда является стабильным при фиксированном рабочем напряжении.

Изобретение дополнительно определяется следующими вариантами воплощения изобретения:

Вариант воплощения изобретения А. Способ крекинга жидких углеводородных материалов во фракции легких углеводородов с использованием искрового разряда, способ включающий: прохождение жидкого углеводородного материала через электроразрядную камеру и в межэлектродный промежуток внутри электроразрядной камеры, в которой межэлектродный промежуток образован между отрицательным электродом, имеющим первый конец и второй конец, и положительным электродом, имеющим первый конец и второй конец, при этом в электроразрядной камере первый конец отрицательного электрода отстоит от первого конца положительного электрода на расстояние, которое определяет межэлектродный промежуток; инжектирование газа-носителя, содержащего водород (H_2) и метан, в жидкий углеводородный материал, когда он входит в межэлектродный промежуток, чтобы образовать газожидкостную углеводородную смесь; и воздействие на газожидкостную углеводородную смесь током между электродами при напряжении, достаточном для возникновения искрового разряда; при этом второй конец отрицательного электрода и второй конец положительного электрода подсоединены к конденсатору; и конденсатор заряжается до напряжения, равного или превышающего напряжение пробоя газа-носителя.

Вариант воплощения изобретения В. Способ по Варианту воплощения изобретения А, в котором газ-носитель состоит из водорода (H_2) и метана. Вариант воплощения изобретения С. Способ по Варианту воплощения изобретения А или В, в котором газ-носитель содержит от 15% об./об. до 30% об./об. водорода.

Вариант воплощения изобретения D. Способ по любому из Вариантов воплощения изобретения А-С, в котором искровой разряд является импульсным искровым разрядом.

Вариант воплощения изобретения Е. Способ по любому из Вариантов воплощения изобретения А-D, дополнительно включающий извлечение фракций легких углеводородов, образующихся в результате воздействия импульсного искрового разряда на газожидкостную углеводородную смесь.

Вариант воплощения изобретения F. Способ по любому из Вариантов воплощения изобретения А-Е, в котором фракции легких углеводородов имеют вязкость меньше чем 100 сП.

Вариант воплощения изобретения G. Способ по любому из Вариантов воплощения изобретения А-F, в котором фракции легких углеводородов имеют плотность по шкале API больше чем 30.

Вариант воплощения изобретения H. Способ по любому из Вариантов воплощения изобретения А-G, в котором среднее отношение атомов водорода к атомам углерода во фракциях легких углеводородов составляет от 2 до 2,5.

Вариант воплощения изобретения I. Способ по любому из Вариантов воплощения изобретения А-H, в котором концентрация водорода и/или метана в газе-носителе изменяется во времени в период инжектирования газа-носителя в жидкие углеводороды.

Вариант воплощения изобретения J. Способ по любому из Вариантов воплощения изобретения А-I, в котором газ-носитель, введенный в жидкие углеводороды, рециркулирует из газожидкостной углеводородной смеси.

Вариант воплощения изобретения K. Установка для конверсии жидкого углеводородного материала во фракцию легких углеводородов, при этом установка включает: камеру искрового разряда, содержащую отрицательный электрод, имеющий первый конец и второй конец, и положительный электрод, имеющий первый конец и второй конец, при этом первый конец отрицательного электрода отстоит от первого конца положительного электрода на расстояние, которое определяет межэлектродный промежуток, и при этом второй конец отрицательного электрода и второй конец положительного электрода подсоединены к конденсатору; впускное отверстие для газа-носителя для подвода газа-носителя, содержащего водород и метан, к жидкому углеводородному материалу; впускное отверстие, предназначенное для ввода жидкого углеводородного материала в камеру искрового разряда; и выпускное отверстие, предназначенное для вывода фракции легких углеводородов из камеры искрового разряда.

Вариант воплощения изобретения L. Установка по Варианту воплощения изобретения K, в которой газ-носитель содержит от 15% об./об. до 30% об./об. водорода.

Вариант воплощения изобретения М. Установка по Варианту воплощения изобретения К или L, в которой фракции легких углеводородов имеют вязкость меньше чем 100 сП.

Вариант воплощения изобретения N. Установка по любому из вариантов воплощения изобретения К-М, в которой фракции легких углеводородов имеют плотность по шкале API больше чем 30.

Вариант воплощения изобретения O. Установка по любому из вариантов воплощения изобретения К-N, в которой среднее отношение атомов водорода к атомам углерода во фракциях легких углеводородов составляет от 2 до 2,5.

Вариант воплощения изобретения P. Установка по любому из вариантов воплощения изобретения К-O, в которой конденсатор заряжается до напряжения, равного или превышающего напряжение пробоя газа-носителя.

Ссылки

[1]Zhang N, Zhao S, Sun X, Zhiming X, Chunming X (2010) Storage stability of the visbreaking product from Venezuela heavy oil. *Energy Fuels* 24:3970-3979

[2]Martinez-Palou R, Maria de Lourdes M, Beatriz Z-R, Elizabeth M-J, Cesar B-H, Juan de la Cruz C-L, Jorge A (2011) Transportation of heavy and extra-heavy crude oil by pipeline: a review. *J Pet Sci Eng* 75:274-282

[3]Hart, A. (2013). A review of technologies for transporting heavy crude oil and bitumen via pipelines. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, 4(3), 327-336. doi:10.1007/s13202-013-0086-6

[4]Chaudhuri, U. R. (2011). *Fundamentals of petroleum and petrochemical engineering* (p.52-53). Boca Raton, FL: CRC Press.

[5]Eser, S. (n.d.). Cut Points. Retrieved March 26, 2018, из <https://www.e-education.psu.edu/fsc432/content/cut-points>.

[6]Jechura, J. (n.d.). Hydroprocessing: Hydrotreating and hydrocracking. Retrieved March 25, 2018, из http://inside.mines.edu/~jjechura/Refining/08_Hydroprocessing.pdf

[7]En.wikipedia.org. (2018). Fluid catalytic cracking, [online] [Доступно 6 Apr. 2018].

[8]Kaiser, M. J., & Gary, J. H. (2007). Study updates refinery investment cost curves. *Oil and Gas Journal*, 84-94. Retrieved March 25, 2018.

В рамках настоящего изобретения, если не указано иное, существительное в единственном числе означает "один или более".

В контексте данного документа, термин "приблизительно" будет понятен специалистам в данной области техники и будет варьировать до некоторой степени в зависимости от контекста, в котором он используется. Если специалистам в данной области техники не всегда понятно использование термина, учитывая контекст, в котором он используется, то "приблизительно" будет означать до плюс или минус 10% от конкретной величины.

Все публикации, заявки на патент, выданные патенты или другие документы, на которые ссылаются в этом описании, введены в настоящий документ путем ссылки, как если бы каждая отдельная публикация, заявка на патент, выданный патент или другой документ были конкретно и индивидуально указаны, как включенные путем ссылки в полном объеме. Определения, содержащиеся в тексте, включенном путем ссылки, исключаются в той степени, в которой они противоречат определениям в данном описании.

Варианты воплощения изобретения, иллюстративно описанные здесь, могут подходящим образом применяться на практике при отсутствии какого-либо элемента или элементов, ограничения или ограничений, конкретно не раскрытых в данном документе. Таким образом, например, термины "включающий", "содержащий" и им подобные, следует читать в широком смысле и без ограничений. Кроме того, приведенные здесь термины и выражения имеют описательное, но неограничивающее значение, то есть, использование таких терминов и выражений не предназначено для исключения каких-либо эквивалентов указанных и описанных характеристик или их частей, но подразумевает, что в рамках заявленной технологии возможны различные модификации. Кроме того, фразу "состоящий практически из" следует понимать, как включающую элементы, которые конкретно перечисляются, и дополнительные элементы, которые не оказывают существенного влияния на основные и новые характеристики заявленной технологии. Фраза "состоящий из" исключает любой неуказанный элемент.

Настоящее изобретение не ограничивается конкретными вариантами воплощения изобретения, описанными в этой заявке, которые предназначены для иллюстрации различных аспектов. Специалистам в данной области техники очевидно, что многие модификации и вариации могут быть внесены без отклонения от сущности и объема изобретения. Функционально эквивалентные композиции, установки и способы в рамках настоящего описания, в дополнение к перечисленным в данном документе, очевидны специалистам в данной области техники из предшествующего описания. Подразумевается, что такие модификации и вариации попадают в объем прилагаемой формулы изобретения. Настоящее описание должно быть ограничено только условиями прилагаемой формулы изобретения вместе с полным объемом эквивалентов, на которые такая формула изобретения имеет право. Следует понимать, что данное описание не ограничивается конкретными способами, реагентами, составами соединений или биологическими системами, которые, конечно, могут варьировать. Также следует понимать, что терминология,

используемая в данном документе, предназначена только для описания конкретных вариантов воплощения изобретения и не предназначена для ограничения.

Кроме того, если признаки или аспекты изобретения описаны в терминах групп Маркуша, специалисты в данной области техники поймут, что изобретение также таким образом описано в терминах любого отдельного члена или подгруппы членов группы Маркуша.

Специалисту в данной области техники понятно, что для любых и всех целей, в частности, для представления письменного описания, все диапазоны, раскрытые в данном документе, также включают любые и все возможные поддиапазоны, и комбинации поддиапазонов. Любой указанный диапазон можно легко распознать, как достаточно описывающий и позволяющий разбить тот же диапазон по меньшей мере на равные половины, трети, четверти, пятые, десятые и тому подобное. В качестве неограничивающего примера каждый обсуждаемый здесь диапазон может быть легко разбит на нижнюю треть, среднюю треть и верхнюю треть и тому подобное. Также специалисту в данной области техники понятно, что все языковые обороты, такие как "вплоть до", "по меньшей мере", "больше чем", "меньше чем" и тому подобные включают указанное число и относятся к диапазонам, которые впоследствии могут быть разбиты на поддиапазоны, как обсуждалось выше. Наконец, специалисту в данной области техники понятно, что диапазон включает каждый отдельный член диапазона.

Хотя проиллюстрированы и описаны определенные варианты воплощения изобретения, следует понимать, что специалисты в данной области техники могут вносить в них изменения и модификации без отклонения от технологии в ее более широких аспектах, как определено в следующей формуле изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ крекинга жидких углеводородных материалов во фракции легких углеводородов с использованием искрового разряда, включающий:

прохождение жидкого углеводородного материала через электроразрядную камеру и в межэлектродный промежуток внутри электроразрядной камеры, в которой межэлектродный промежуток образован между отрицательным электродом, имеющим первый конец и второй конец, и положительным электродом, имеющим первый конец и второй конец, при этом в электроразрядной камере первый конец отрицательного электрода отстоит от первого конца положительного электрода на расстояние, которое определяет межэлектродный промежуток;

инжектирование газа-носителя, содержащего водород (H_2) и метан, в жидкий углеводородный материал, когда он входит в межэлектродный промежуток, чтобы образовать газожидкостную углеводородную смесь, причем газ-носитель содержит от 15% об./об. до 30% об./об. водорода,

причем водород добавлен в газ-носитель для достижения эффективной конверсии жидких углеводородных материалов во фракции легких углеводородов при одновременном снижении образования твердых частиц в зоне реакции электроразрядной камеры, но при этом избегают избытка водорода таким образом, чтобы предотвратить ослабление снижения образования твердых частиц; и

воздействие на газожидкостную углеводородную смесь током между электродами при напряжении, достаточном для возникновения искрового разряда;

при этом второй конец отрицательного электрода и второй конец положительного электрода подсоединены к конденсатору; и

конденсатор заряжается до напряжения, равного или превышающего напряжение пробоя газа-носителя.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что газ-носитель состоит из водорода (H_2) и метана.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что искровой разряд является импульсным искровым разрядом.

4. Способ по п.3, отличающийся тем, что дополнительно включает извлечение фракций легких углеводородов, образующихся в результате воздействия импульсного искрового разряда на газожидкостную углеводородную смесь.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что фракции легких углеводородов имеют вязкость меньше чем 100 сП.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что фракции легких углеводородов имеют плотность по шкале API больше чем 30.

7. Способ по п.1, отличающийся тем, что среднее отношение атомов водорода к атомам углерода во фракциях легких углеводородов составляет от 2 до 2,5.

8. Способ по п.1, отличающийся тем, что концентрация водорода и/или метана в газе-носителе изменяется во времени в период инжектирования газа-носителя в жидкие углеводороды.

9. Способ по п.1, отличающийся тем, что газ-носитель, введенный в жидкие углеводороды, рециркулирует из газожидкостной углеводородной смеси.

10. Установка для осуществления способа по п.1, включающая:

указанную электроразрядную камеру, содержащую указанный отрицательный электрод и указан-

ный положительный электрод, соединенные с указанным конденсатором;

впускное отверстие для газа-носителя для инжектирования газа-носителя к жидкому углеводородному материалу при вхождении жидкого углеводородного материала в указанный межэлектродный промежуток между указанным отрицательным электродом и указанным положительным электродом;

впускное отверстие, предназначенное для прохождения жидкого углеводородного материала в электроразрядную камеру; и

выпускное отверстие, предназначенное для вывода фракций легких углеводородов из электроразрядной камеры.

11. Установка по п.10, отличающаяся тем, что фракции легких углеводородов имеют вязкость меньше чем 100 сП.

12. Установка по п.10, отличающаяся тем, что фракции легких углеводородов имеют плотность по шкале API больше чем 30.

13. Установка по п.10, отличающаяся тем, что среднее отношение атомов водорода к атомам углерода во фракциях легких углеводородов составляет от 2 до 2,5.

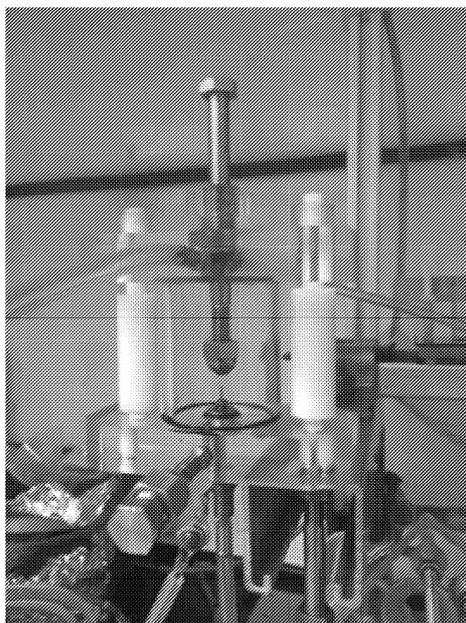
14. Установка по п.10, отличающаяся тем, что конденсатор заряжается до напряжения, равного или превышающего напряжение пробоя газа-носителя.

15. Способ по п.1, в котором водород (H_2) газа-носителя инжектируют в межэлектродный промежуток с первой скоростью, а метан инжектируют в межэлектродный промежуток со второй скоростью, отличной от первой скорости.

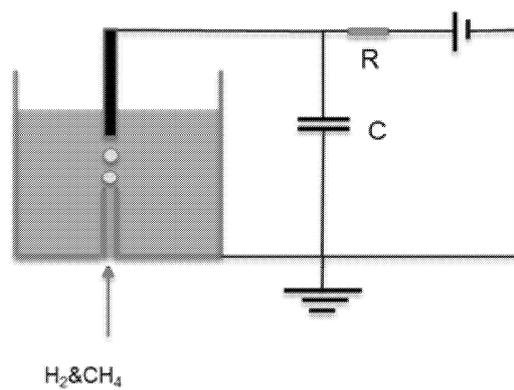
16. Способ по п.15, который дополнительно включает изменение соотношения водорода (H_2) к метану в газожидкостной углеводородной смеси путем регулирования, по истечении заданного времени, первой скорости или второй скорости.

17. Способ по п.1, в котором искровой разряд генерирует более легкие жидкие углеводородные соединения, которые служат в качестве разбавителя, который непосредственно смешивается с жидким углеводородным материалом, поступающим в электроразрядную камеру, для снижения вязкости жидкого углеводородного материала.

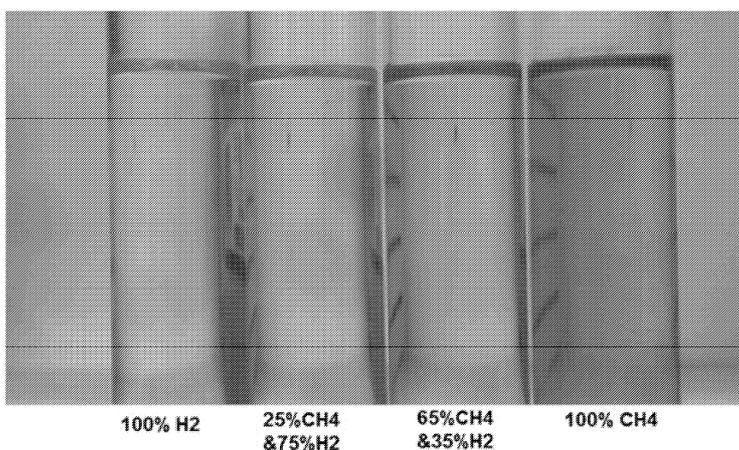
18. Способ по п.17, в котором разбавитель отдельно не добавляют в электроразрядную камеру.



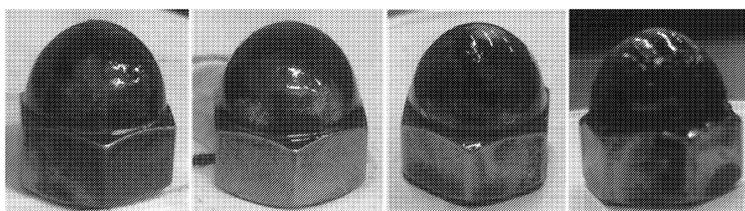
Фиг. 1



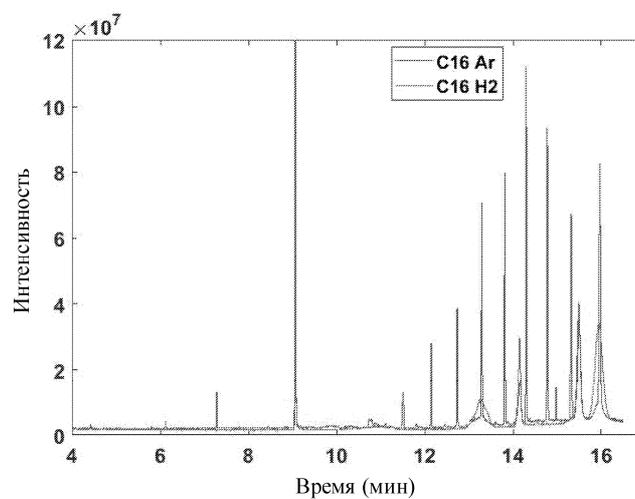
Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5