

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **040776**(13) **B1**(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.07.27

(21) Номер заявки
201992229

(22) Дата подачи заявки
2018.04.11

(51) Int. Cl. **C10B 57/02** (2006.01)
C10B 57/08 (2006.01)
C10B 57/14 (2006.01)
C10B 33/02 (2006.01)
C10B 21/08 (2006.01)

(54) ГИБКИЕ СИСТЕМА И СПОСОБ ПИРОЛИЗА

(31) **62/484,292; 62/508,333**

(32) **2017.04.11; 2017.05.18**

(33) **US**

(43) **2020.03.20**

(86) **PCT/US2018/027110**

(87) **WO 2018/191378 2018.10.18**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
ТЕРРАПАУЭР, ЭлЭлСи (US)

(72) Изобретатель:
**Гудрич Бенджамин Л., Уолтер
Джошуа К. (US)**

(74) Представитель:
**Поликарпов А.В., Соколова М.В.,
Путинцев А.И., Черкас Д.А., Игнатьев
А.В., Билык А.В., Дмитриев А.В. (RU)**

(56) **WO-A1-2016043651
US-A1-2016160124
FR-A-973678**

(57) Предложен способ пиролиза угля, включающий протекание входящего потока диоксида углерода (CO₂) в сверхкритическом состоянии в реакционную камеру, содержащую уголь; поддержание реакционной камеры при температуре и давлении пиролиза, достаточных для поддержания CO₂ в реакционной камере в сверхкритическом состоянии, с проведением при этом пиролиза угля с получением обуглившегося вещества и сверхкритического CO₂, содержащего растворенные продукты пиролиза; извлечение после времени контакта сверхкритического CO₂, содержащего растворенные продукты пиролиза, из реакционной камеры в виде выходящего потока; направление первой части выходящего потока через рекуператор/накопитель первой стадии, в котором выходящий поток охлаждают возвратным потоком CO₂ на пути в реакционную камеру, причем рекуператор/накопитель первой стадии содержит накопитель конденсата после рекуператора для получения выходящего с первой стадии потока CO₂ и конденсированного продукта пиролиза первой стадии; направление по меньшей мере части выходящего с первой стадии потока CO₂ через рекуператор/накопитель второй стадии для получения выходящего со второй стадии потока CO₂ и конденсированного продукта пиролиза второй стадии; и кондиционирование по меньшей мере части CO₂ из выходящего с первой стадии потока CO₂ или выходящего со второй стадии потока CO₂ путем пропускания по меньшей мере части CO₂ в виде возвратного потока через рекуператор/накопитель первой стадии для получения входящего потока CO₂. Также предложена система для осуществления указанного способа пиролиза угля.

040776 B1

040776 B1

Перекрестные ссылки на родственные заявки

В настоящей заявке испрашивается приоритет по предварительным патентным заявкам США № 62/484292 под названием "Method of Pyrolysis Optimized for the Production of Pitch and Subsequent Use in Making Carbon Fiber" ["Способ пиролиза, оптимизированный для производства пека, и его последующее использование в изготовлении углеволокна"], поданной 11 апреля 2017 г., и № 62/508333 под названием "Flexible Pyrolysis System and Method" ["Гибкие система и способ пиролиза"], поданной 18 мая 2017 г., которые включены в данную заявку посредством ссылки.

Введение

Пиролиз относится к термохимическому разложению органического материала при повышенных температурах в присутствии кислорода. В зависимости от того, как сконфигурирована и работает система пиролиза, можно получить разные продукты пиролиза.

Гибкие система и способ пиролиза.

Примеры гибкой системы пиролиза описаны ниже. Они содержат по меньшей мере одну реакционную камеру, способную пиролизовать комбинацию угля в сверхкритической текучей среде, такой как сверхкритический диоксид углерода (CO_2). Система включает контур рекуперации и конденсации, который удаляет растворенные продукты пиролиза из сверхкритической текучей среды и затем возвращает текучую среду в реакционную камеру для повторного использования. Контур рекуперации и конденсации включает несколько стадий рекуператоров и накопителей, которые можно регулировать независимо для селективного разделения на фракции продуктов пиролиза. Кроме того, реакцию пиролиза можно регулировать для изменения получаемых продуктов пиролиза.

Краткое описание чертежей

Нижеследующие чертежи, которые составляют часть данной заявки, приведены в качестве иллюстрации описанной технологии и не предназначены для ограничения объема изобретения, заявленного каким-либо образом, объем которого должен быть основан на прилагаемой формуле изобретения.

Фиг. 1 иллюстрирует в высокой степени упрощенное воплощение способа пиролиза, в котором улучшено относительное количество пека, полученного из заданного исходного сырья.

Фиг. 2 иллюстрирует более подробное воплощение способа пиролиза с фиг. 1.

Фиг. 3 представляет пример системы, подходящей для способов производства пека, описанных выше.

На фиг. 4 приведена блок-схема способа для периодического воплощения гибкой системы пиролиза, которая может быть настроена для изменения продуктов пиролиза, получаемых из заданного исходного сырья.

Фиг. 5А-5С иллюстрируют экспериментальные характеристики воплощения системы, показанной на фиг. 4.

Фиг. 6 иллюстрирует воплощение обобщенного способа проведения пиролиза углеродистого исходного сырья для получения продуктов реакции с помощью CO_2 .

На фиг. 7 представлено более подробное воплощение способа проведения пиролиза угля со сверхкритическим CO_2 .

Подробное описание

Перед тем как приступить к раскрытию и описанию гибких способов и систем пиролиза, нужно понимать, что настоящее описание не ограничивается конкретными структурами, стадиями способа или раскрытыми в данной заявке материалами, но распространяется и на их эквиваленты, как будет понятно специалистам в соответствующих областях техники. Следует также понимать, что термины используются в данной заявке лишь для описания конкретных воплощений и не должны ограничиваться. Следует отметить, что используемые в настоящем описании формы единственного числа включают также формы множественного числа, если из контекста явно не следует иное. Так, например, ссылка на "гидроксид лития" не должна восприниматься количественно или ограничивать источник, ссылка на "стадию" может включать несколько стадий, ссылку на "получение" или "продукты" реакции не следует воспринимать как все продукты реакции, а ссылка на "протекание реакции" может включать ссылку на одну или более таких стадий реакции. Таким образом, стадия протекания реакции может включать несколько или повторение реакций похожих материалов для получения идентичных продуктов реакции.

Пек относится к комбинации углеводородов, включающей полиароматические углеводороды, которые можно производить из угля, древесины и другого органического материала. Пек характеризуется тем, что имеет высокий (>80 мас.%) состав элементного углерода, высокую концентрацию полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и температуру размягчения, которая может изменяться в диапазоне от 100°C до более чем 250°C (по данным измерений с помощью способа Vicat ASTM-D 1525). Как правило, пек, подходящий для углеволокна, будет способен к образованию высокой концентрации анизотропного мезофазного пека. Его можно использовать как основу для покрытий и краски в кровле и тротуарах, а также в качестве связующего в асфальтовых продуктах. Пек можно также использовать для создания углеволокна, как более подробно обсуждается далее.

Хотя приведенные ниже системы и способы будут представлены в отношении воплощения со сверхкритическим диоксидом углерода, можно использовать любую сверхкритическую текучую среду,

такую как вода, метан, закись азота и т.д.

На фиг. 1 проиллюстрировано в высокой степени упрощенное воплощение способа пиролиза, в котором улучшено относительное количество пека, получаемого из заданного исходного сырья. В показанном способе 100 углеродистый исходный сырьевой материал и воду подвергают двухстадийному пиролизу. Вода может присутствовать в виде влаги в исходном сырье. Альтернативно дополнительную воду можно добавлять в исходное сырье в некий момент времени до или в процессе пиролиза.

Первой стадией является операция 102 низкотемпературного пиролиза для удаления C_1 - C_4 газов из исходного сырья. На данной стадии 102 пиролиз проводят при более низкой температуре (например, 150-350°C при 7-30 МПа). Исходное сырье нагревают до температуры первой стадии и выдерживают при этой температуре для образования и удаления C_1 - C_4 газов из исходного сырья. В одном из воплощений газы в реакционной камере для пиролиза контролируют и, когда определяют, что концентрация C_1 - C_4 газов начала выходить на постоянный уровень в соответствии с рабочими параметрами, проводят операцию 104 пиролиза при более высокой температуре.

Температуру первой стадии можно выбирать на основе ранее известных сведений о свойствах исходного сырья или можно автоматически определять на основе анализа реакции и образуемых продуктах пиролиза в реальном времени. В зависимости от воплощения температура первой стадии может иметь нижний предел, выбранный из от 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300 и 325°C и может иметь верхний предел, выбранный из от 175, 200, 225, 250, 275, 300, 325 и 350°C, так что можно использовать любую комбинацию указанных выше нижних пределов диапазонов и верхних пределов диапазонов.

На второй стадии операции 104 пиролиза температуру повышают до 350-550°C при 7-30 МПа, например 7-12 МПа, и выдерживают при этой температуре в течение периода времени, достаточного для образования пека. Как и на первой стадии, количество генерируемых продуктов реакции пиролиза будет со временем выходить на постоянный уровень, так как система приходит к равновесию, и продолжительность второй операции 104 пиролиза отдается на усмотрение оператора.

Температуру второй стадии можно выбирать на основе ранее известных сведений о свойствах исходного сырья или можно автоматически определять на основе анализа реакции и генерируемых продуктах пиролиза в реальном времени. В зависимости от воплощения температура второй стадии может иметь нижний предел, выбранный из от 350, 375, 400, 425, 450 и 480°C, и может иметь верхний предел, выбранный из от 375, 400, 425, 450, 480, 500, 525 и 550°C, так что можно использовать любую комбинацию указанных выше нижних пределов диапазонов и верхних пределов диапазонов.

Затем получают пек в операции 106 экстракции и разделения. В операции 106 экстракции и разделения пек экстрагируют с помощью растворителя, такого как сверхкритический диоксид углерода ($scCO_2$), причем растворитель и растворенный пек удаляют из реакционной камеры и затем отделяют с получением продукта из пека.

Чтобы получить углеволокно из пека, можно провести необязательную (на чертеже показана пунктирными линиями) операцию 108 экструзии, на которой пек экструдировать в волокна желаемого профиля поперечного сечения и дают охладиться. Пек можно или необязательно сначала промыть, например, толуолом или другим растворителем для удаления нежелательных продуктов и дополнительно очистить пек.

Экспериментальные данные для двухстадийного процесса на фиг. 1 показывают, что количество пека, произведенного для заданного исходного сырья, больше, чем было бы получено из того же исходного сырья при одностадийном пиролизе при более высокой температуре. Не ограничиваясь какой-либо конкретной теорией, описанный выше двухстадийный способ, по-видимому, на первой стадии удаляет более легкие углеводороды из исходного сырья, что делает их недоступными для реакции с углеводородными цепями с большей молекулярной массой и ароматикой во время второй стадии, и это улучшает относительное количество генерируемого пека.

Исходный сырьевой материал может включать любой углеродистый материал, известный в данной области техники. Например, исходный сырьевой материал может включать, не ограничиваясь указанным, уголь, биомассу, биоматериал из смешанных источников, торф, гудрон, пластик, бытовые отходы и полигонные отходы. Например, в случае угля, исходное сырье может включать, не ограничиваясь указанным, каменный уголь, полубитуминозный уголь, лигнит, антрацит и т.п. В качестве другого примера в случае биомассы исходное сырье может включать древесный материал, такой как, не ограничиваясь указанным, древесину мягких пород или древесину твердых пород. В более подробных воплощениях, приведенных в качестве иллюстрации и обсуждаемых в данной заявке, исходное сырье представляет собой уголь. Однако будет понятно, что пек можно равным образом получить из любого другого типа исходного сырьевого материала и затем впоследствии использовать для получения углеволокна таким же образом, как описано в отношении угля.

Следует отметить, что любое углеродистое исходное сырье, такое как уголь, может включать некоторое количество воды. Кроме того, воду можно добавлять в исходное сырье до или в процессе пиролиза в любом из способов и систем, обсуждаемых в данной заявке, для модификации продуктов, созданных с помощью реакции. Аналогично исходное сырье может быть высушено перед пиролизом для уменьшения количества воды, доступной во время операции пиролиза, и такая операция сушки может представлять

собой часть любого из способов и любой из систем, обсуждаемых в данной заявке.

На фиг. 2 показано более подробное воплощение способа пиролиза с фиг. 1.

Способ 200 начинается путем помещения исходного сырьевого материала и воды в реакционную камеру для пиролиза в операции 202 загрузки. В одном из воплощений исходный сырьевой материал и/или воду можно предварительно нагреть перед помещением в реакционную камеру для пиролиза. Количество используемой воды может составлять 1-1000% от массы высушенного исходного сырьевого материала. В одном из воплощений, количество воды может составлять от 10, 20, 30, 40 или 50% от массы высушенного исходного сырьевого материала у нижнего предела и вплоть до 100, 200 или 500% у верхнего предела. Воду можно добавлять отдельно или она уже может находиться в исходном сырьевом материале. Например, в одном из воплощений используемый исходный сырьевой материал представляет собой уголь, полунасыщенный водой, так что более 10% массы исходного сырьевого материала представляет собой вода, и воду в угле используют в качестве воды для операции 202 загрузки.

Операция загрузки может также включать нагнетание давления в реакционной камере для пиролиза до рабочего давления (например, 7-12 МПа). В одном из воплощений эта операция может включать удаление кислорода и добавление в реакционную камеру сжатого CO_2 . В этом воплощении сжатый CO_2 можно позже использовать в качестве растворителя для экстракции и извлечения пека и других растворимых продуктов реакции из камеры.

Способ 200 также включает нагревание реакционной камеры для пиролиза до промежуточной температуры от 150 до 350°C при 7-12 МПа в операции 204 первоначального нагревания. Можно использовать более узкий диапазон температуры, например, от 160, 170, 180, 190, 200, 210, 220, 230 или 240 на нижнем пределе диапазона и до 250, 260, 270, 280, 290, 300, 310, 320, 330 или 340 на верхнем пределе диапазона. Операцию 204 первоначального нагревания можно проводить до или после операции 202 загрузки. В одном из воплощений операцию 204 можно проводить для повышения температуры так быстро, насколько это имеет смысл с практической точки зрения с имеющимся оборудованием, так что реакции при температурах ниже промежуточной температуры замедляются.

Затем промежуточную температуру поддерживают в течение периода времени в операции 206 поддержания первой температуры. Время поддержания можно предварительно выбрать такое, как в течение 10, 15, 30, 60, 120 или даже 240 мин. Например, предварительно выбранное время поддержания может быть основано на предварительных экспериментах. Альтернативно время поддержания можно определить путем контроля газов в реакционной камере для пиролиза. Например, в одном из воплощений контролируют концентрацию одного или более полученных газов реакции пиролиза, таких как метан, этан, бутан, пропан, или любого другого газообразного продукта реакции. Концентрация контролируемого газа или газов будет сначала возрасти и в конечном итоге начнет выходить на постоянную величину примерно по экспоненциальной кривой. Время поддержания может быть основано на контролируемом изменении концентрации газа или газов во времени. Например, в одном из воплощений операцию 206 поддержания первой температуры можно прекратить, когда наблюдают, что концентрация контролируемого газа или газов возросла менее, чем на некоторое пороговое значение (например, 2% или 100 ppm (млн долей)) в течение некоторого заранее заданного периода времени (например, 10 с, 1 мин, 5 мин и т.д.). В еще одном воплощении количество энергии, вводимой в камеру для поддержания температуры пиролиза или любого другого параметра, такого как визуальное или физическое состояние исходного сырьевого материала, тоже можно контролировать для определения того, что реакция продвигается в удовлетворительном направлении.

Затем проводят операцию 208 второго нагревания. В операции 208 второго нагревания температура камеры для пиролиза и исходного сырьевого материала возрастает до температуры пиролиза от 300 до 550°C. Например, операция 208 второго нагревания может включать нагревание реакционной камеры до от 325, 350, 375 или 400°C на нижнем пределе диапазона до 425, 450, 475, 500, 525 или 550°C на верхнем пределе.

Температуру пиролиза, которую можно также обозначить как температуру получения пека, затем поддерживают в течение второго периода времени от 1 мин до 24 ч в операции 210 поддержания второй температуры. Снова второе время поддержания можно предварительно выбрать, например, на основе предварительных экспериментов. Альтернативно время поддержания можно определить путем контроля одного или более газов, которые могут быть или могут не быть теми же газом или газами, контролируемые во время операции 206 поддержания первой температуры в реакционной камере для пиролиза. В еще одном воплощении количество энергии, вводимой в камеру для поддержания температуры пиролиза или любого другого параметра, такого как визуальное или физическое состояние исходного сырьевого материала, тоже можно контролировать для определения того, что реакция продвигается в удовлетворительном направлении.

Под конец второго времени поддержания пек можно экстрагировать и извлечь из камеры пиролиза в операции 212 экстракции.

Затем можно провести операцию 214 разделения для отделения экстрагированного пека от растворителя. В одном из воплощений, если растворитель представляет собой cCO_2 , операция 214 разделения может включать удаление cCO_2 и растворенных продуктов реакции пиролиза из камеры и снижение тем-

пературы и давления растворителя, пока не получен пек. Например, сСО₂ можно пропускать через последовательную серию камер, каждая при разной комбинации давления и температуры, для фракционного удаления компонентов из продуктов реакции, включая пек, которые имеют разные значения растворимости в диоксиде углерода. Одну из камер для разделения можно поддерживать при температуре и давлении, которые характерны для конденсации пека из растворителя. Например, в одном из воплощений пек получают из СО₂ растворителя в камере, поддерживаемой при температуре 350°C или выше и давлении 7,39 МПа или выше.

Чтобы получить углеволокно из пека, можно провести необязательную (на чертеже показана пунктирными линиями) операцию 216 экструзии, на которой пек экструдирован в волокна желательного профиля поперечного сечения и дают охладиться. Пек можно или необязательно сначала промыть для удаления нежелательных продуктов и дополнительно очистить пек до или после экструзии. Дополнительно экструдированный пек можно отжечь, высушить, охладить, обжечь, подвергнуть термообработке (в окислительных или инертных условиях) или подвергнуть постобработке другим способом для улучшения свойств нитей волокна.

Способ 200, описанный выше, был описан для периодического процесса в одной реакционной камере для пиролиза. В альтернативном воплощении способ можно проводить как непрерывный или полунепрерывный процесс при использовании одной или более реакционных камер для пиролиза. Например, в одном из воплощений операцию 204 первоначального нагревания и операцию 206 поддержания первой температуры можно проводить в первой реакционной камере и затем содержимое можно переносить во вторую камеру для операции 208 второго нагревания и операции 210 поддержания второй температуры.

На фиг. 3 приведен пример системы 300, подходящей для способов получения пека, описанных выше. На фиг. 3 приведена блок-схема системы 300 для превращения углеродистого материала в один или более продуктов реакции. В одном воплощении система 300 включает систему 302 термохимического превращения. В одном воплощении система 302 термохимического превращения включает камеру 304 для термохимической реакции, такую как реакционная камера для пиролиза, подходящая для вмещения объема исходного сырьевого материала (например, углеродистого материала) и воды 305 и превращения исходного сырьевого материала в один или более продуктов реакции, включая пек.

В показанном воплощении, система 300 включает один или более источников 308 тепла и систему 306 передачи тепловой энергии для передачи тепловой энергии от одного или более источников 308 тепла в объем 305 исходного сырья, содержащегося внутри камеры 304 для термохимической реакции. Система 306 передачи тепловой энергии включает элемент 307 передачи тепла. Например, элемент 307 передачи тепла может включать, не ограничиваясь указанным, замкнутый контур передачи тепла, линию передачи тепла и т.п. В частности, элемент 307 передачи тепла может включать, не ограничиваясь указанным, замкнутый контур передачи тепла, заполненный сверхкритической текучей средой (например, сСО₂), находящийся в тепловом соединении (например, напрямую или опосредованно) с одним или более участками одного или более источников 308 тепла.

В одном воплощении система передачи тепловой энергии расположена так, чтобы избирательно приводить объем сверхкритической текучей среды в тепловое соединение с объемом исходного сырья, содержащегося внутри камеры для термохимической реакции. В этой связи система 306 передачи тепловой энергии может избирательно передавать тепловую энергию от одного или более источников 308 тепла в объем исходного сырья 305, содержащегося внутри по меньшей мере одной камеры 304 для термохимической реакции. В другом воплощении камера 304 для термохимической реакции может осуществлять пиролиз по меньшей мере части исходного сырья 305 с получением одного или более продуктов реакции при использовании тепловой энергии, переносимой в исходное сырье с помощью сверхкритической текучей среды.

Сверхкритическая текучая среда системы 300 может включать любую сверхкритическую текучую среду, известную в данной области техники, которая подходит для передачи энергии от одного или более источников 308 тепла в исходное сырье 305, содержащееся в камере 304 для термохимической реакции. В одном воплощении сверхкритическая текучая среда включает, не ограничиваясь указанным, сСО₂. В другом воплощении сверхкритическая текучая среда включает, не ограничиваясь указанным, воду, метанол, этанол, пропанол, ацетон. В другом воплощении сверхкритическую текучую среду сжимают до высокого давления в по меньшей мере одном элементе 307 передачи тепла и камере 304 для термохимической реакции.

В данной заявке отмечается, что сверхкритическая текучая среда системы 300, такая как, не ограничиваясь указанным, СО₂, может иметь низкие вязкость и поверхностное натяжение, что позволяет таким сверхкритическим текучим средам легко проникать в органические материалы (например, уголь). Проникновение сверхкритической текучей среды в исходное сырье 305 снижает необходимость превращения исходного сырья в мелкие частицы перед термохимической реакцией, сохраняя при этом энергию при получении исходного сырьевого материала. В одном воплощении, в случае когда сверхкритическая текучая среда представляет собой сверхкритический СО₂, сверхкритическую текучую среду можно сжимать выше ее критического давления (7,39 МПа) и критической температуры (31°C). В данной заявке

отмечается, что выше этих условий, CO_2 будет проявлять уникальные свойства растворимости, аналогичные свойствам органических растворителей, таких как гексан, гептан, бензол и толуол. Неполлярная природа сверхкритического CO_2 может способствовать контролю над нежелательными ионными вторичными реакциями, которые обычно протекают в водных средах. Кроме того, CO_2 будет испаряться, когда давление системы снижают ниже критических условий, что способствует извлечению масла с низким содержанием воды. Опять же это может значительно снизить потребление энергии во время разделения после пиролиза продуктов реакции от сверхкритической текучей среды, описанного в данной заявке далее. Далее следует отметить, что в качестве сверхкритической текучей среды системы 300 применяют нагретый и сжатый CO_2 в исходный сырьевой материал 305, что обеспечивает более хороший контроль за условиями реакции (например, временем, давлением и температурой), тем самым обеспечивая более хорошую селективность ценных целевых химических соединений или интермедиатов топлива.

В другом воплощении сверхкритическая текучая среда, такая как сверхкритический CO_2 , может обеспечивать строгий контроль температуры и времени реакции путем введения более холодной сверхкритической текучей среды в камеру 304 для термохимической реакции для гашения реакции или более горячей сверхкритической текучей среды для ускорения реакции. Нужно также отметить, что, поскольку можно эффективно сжимать несколько сверхкритических текучих сред, таких как сверхкритический CO_2 , уровни давления внутри камеры 304 для термохимической реакции также можно использовать для регулирования термохимических реакций внутри камеры 304 для термохимической реакции.

В другом воплощении растворимость одного или более продуктов реакции, таких как пек, в сверхкритической текучей среде можно регулировать путем добавления или удаления полярного материала в сверхкритическую текучую среду. Например, растворимость одного или более масел в сверхкритическом диоксиде углерода можно регулировать путем добавления/удаления одного или более материалов, включающих полярную молекулу, такую как, не ограничиваясь указанным, H_2O , этанол, метанол, высшие спирты и т.п. В качестве другого примера, в случае когда исходный сырьевой материал включает уголь, растворимость одного или более масел в sCO_2 можно регулировать путем добавления/удаления одного или более материалов, включающих молекулу, являющуюся донором водорода, такую как, не ограничиваясь указанным, H_2 , H_2O , муравьиная кислота, тетралин и любые другие растворители, являющиеся донором водорода, известные в данной области техники.

Следует отметить, что исходное сырье 305, содержащееся внутри камеры 304 для термохимической реакции, может иметь достаточную влажность и полярную природу для адекватного растворения одного или более продуктов реакции (например, био-нефти) в сверхкритической текучей среде. Как обсуждается в данной заявке далее, "сухость" исходного сырья можно регулировать с помощью системы 302 термохимического превращения (например, регулировать с помощью сушилки 134), позволяющей системе 302 термохимического превращения поддерживать уровень содержания влажности внутри исходного сырья 305 на уровне, достаточном для адекватного растворения одного или более продуктов реакции в сверхкритической текучей среде.

В другом воплощении сверхкритическая текучая среда может содержать один или более материалов для улучшения одной или более физических или термохимических реакций в системе 300. Например, сверхкритическая текучая среда может содержать один или более катализаторов, таких как, не ограничиваясь указанными, металлы, соли металлов и органические вещества. В качестве другого примера сверхкритическая текучая среда может содержать одно или более растворенных веществ, таких как, не ограничиваясь указанными, спирты, масла, водород и углеводороды.

Один или более источников 308 тепла может включать любой источник тепла, известный в данной области техники, который подходит для обеспечения тепловой энергии, достаточной для нагревания исходного сырья 305 до выбранных температур, используемых в двухстадийном пиролизе.

В одном воплощении один или более источников 308 тепла включают не выделяющий CO_2 источник тепла. В другом воплощении один или более источников 308 тепла включают один или более ядерных реакторов. Один или более источников 308 тепла может включать любой ядерный реактор, известный в данной области техники. Например, один или более источников 308 тепла может включать охлаждаемый жидким металлом ядерный реактор, охлаждаемый расплавленной солью ядерный реактор, охлаждаемый водой высокой температуры ядерный реактор, охлаждаемый газом ядерный реактор и т.п. В качестве другого примера один или более источников 308 тепла может включать реактор затопленного типа. В качестве другого примера один или более источников 308 тепла может включать модульный реактор.

Следует отметить, что в данной заявке ядерный реактор может генерировать температуры, достаточные для проведения пиролиза (например, быстрого пиролиза) исходного сырья 305. Например, тепловой источник ядерного реактора может генерировать температуры выше $350\text{-}600^\circ\text{C}$. В связи с этим ядерный реактор можно использовать для передачи тепловой энергии (например, при температуре выше $350\text{-}600^\circ\text{C}$) сверхкритической текучей среде. В свою очередь, сверхкритическая текучая среда может передавать тепловую энергию, генерируемую ядерным реактором, в исходное сырье 305, содержащееся в камере 304 для термохимической реакции.

Следует также отметить, что тепловой источник ядерного реактора может быть особенно выгоден в

качестве источника тепла в контексте системы 300, поскольку температуры термохимической реакции системы 300 находятся в диапазоне рабочих температур многих ядерных реакторов. Тепло ядерного реактора можно с высокой эффективностью использовать для создания продуктов реакции (например, пека) в камере 304 для термохимической реакции, поскольку ядерный реактор работает при температуре реакции для термохимического превращения (т.е. тепло, добавляемое при температуре термохимической реакции, подает необходимую энтальпию реакции).

В одном воплощении, как показано на фиг. 3, система 306 передачи тепловой энергии включает систему прямого теплообмена, выполненную для передачи тепловой энергии непосредственно от одного или более источников 308 тепла в объем сверхкритической текучей среды элемента 307 передачи тепла. Например, элемент 307 передачи тепла можно поместить в прямом тепловом соединении с участком одного или более источников 308 тепла. В частности, в случае где один или более источников 308 тепла включают ядерный реактор, одна или более систем охлаждения ядерного реактора могут быть интегрированы с системой 306 передачи тепловой энергии. В связи с этим ядерный реактор может использовать сверхкритическую текучую среду в одной или более систем охлаждения, которые затем могут быть непосредственно связаны с камерой 304 для термохимической реакции. Например, первичный или промежуточный замкнутый контур охлаждения ядерного реактора может включать охлаждающую текучую среду, состоящую из сверхкритической текучей среды, такой как сверхкритический CO_2 . Кроме того, замкнутый контур охлаждения ядерного реактора может быть непосредственно связан с камерой 304 для термохимической реакции через систему 306 передачи тепловой энергии, так чтобы смешивать сверхкритическую текучую среду замкнутого контура охлаждения ядерного реактора с исходным сырьевым материалом 305, содержащимся в камере 304 для термохимической реакции. В свою очередь, при передаче тепловой энергии из ядерного реактора в исходный сырьевой материал 305 система 306 передачи тепловой энергии может возвращать сверхкритическую охлаждающую текучую среду рециклом обратно в ядерный реактор с помощью возвратного пути 318. В данной заявке также предполагается, что система 306 передачи тепловой энергии может включать любое число фильтрующих элементов во избежание переноса исходного сырья и/или продуктов реакции в систему(ы) охлаждения ядерного реактора.

В другом воплощении (не показано) система 306 передачи тепловой энергии включает систему непрямого теплообмена. В одном воплощении система непрямого теплообмена выполнена с возможностью опосредованной передачи тепловой энергии из одного или более источников 308 тепла в объем сверхкритической текучей среды, содержащейся внутри элемента 307 передачи тепла. В одном воплощении система непрямого теплообмена включает промежуточный элемент передачи тепла (не показан), выполненный с возможностью передачи тепловой энергии от одного или более источников 308 тепла в промежуточный элемент передачи тепла. В свою очередь, промежуточный элемент передачи тепла может передавать тепловую энергию от промежуточного элемента передачи тепла в объем сверхкритической текучей среды, содержащейся внутри элемента 307 передачи тепла.

В одном из воплощений промежуточный элемент передачи тепла может включать промежуточный замкнутый контур передачи тепла и один или более теплообменников. Промежуточный замкнутый контур передачи тепла может включать любую рабочую текучую среду, известную в данной области техники, которая подходит для передачи тепловой энергии. Например, рабочая текучая среда промежуточного замкнутого контура передачи тепла может включать, не ограничиваясь указанным, жидкую соль, жидкий металл, газ, сверхкритическую текучую среду (например, сверхкритический CO_2) или воду.

Кроме того, как ранее описано в данной заявке, элемент 307 передачи тепла системы 306 передачи тепла может смешивать сверхкритическую текучую среду, содержащуюся внутри элемента 307 передачи тепла, с исходным сырьевым материалом 305, содержащимся внутри камеры 304 для термохимической реакции. В свою очередь, при передаче тепловой энергии от источника 308 тепла в исходный сырьевой материал 305 через элемент 307 передачи тепла система 306 передачи тепловой энергии может возвращать сверхкритическую охлаждающую текучую среду рециклом через возвратный путь 318.

В данной заявке отмечается, что приведенное выше описание прямого и непрямого соединения между одним или более источников 308 тепла и исходным сырьем 305 не ограничено и приведено скорее для иллюстрации. Следует отметить, что, в широком смысле, интеграция между одним или более источниками тепла (например, ядерным реактором) и камерой 304 для термохимической реакции может происходить путем передачи тепла от первичной, промежуточной или конечной системы передачи тепла (например, системы охлаждения) от одного или более источников 308 тепла в рабочую текучую среду, такую как сверхкритический CO_2 , системы 302 термохимического превращения. Кроме того, в данной заявке предполагается, что эту интеграцию можно проводить с использованием любых систем или устройств передачи тепла, известных в данной области техники, таких как, не ограничиваясь указанными, один или более контуров передачи тепла, один или более поглотителей тепла, один или более теплообменников и т.п.

В одном воплощении система 306 передачи тепловой энергии включает систему 310 регулирования потока. Систему 310 регулирования потока можно расположить так, чтобы избирательно приводить сверхкритическую текучую среду в тепловое соединение с объемом исходного сырья, содержащегося внутри камеры 304 для термохимической реакции. В связи с этим система 310 регулирования потока

может избирательно переносить тепловую энергию из одного или более источников 308 тепла в объем исходного сырья, содержащегося внутри камеры 304 для термохимической реакции. Например, система 310 регулирования потока может быть расположена вдоль элемента 307 передачи тепла (например, замкнутого контура теплопередачи) для регулирования потока сверхкритической текучей среды через элемент 307 передачи тепла. В связи с этим система 310 регулирования потока может регулировать поток сверхкритической текучей среды в объем исходного сырья 305, регулируя при этом передачу тепловой энергии в исходное сырье 305.

Система 310 регулирования потока может включать любую систему регулирования потока, известную в уровне техники, которая подходит для регулирования потока сверхкритической текучей среды из первого положения во второе положение. Например, система 310 регулирования потока может включать, не ограничиваясь указанным, один или более клапанов регулирования, находящихся в оперативном соединении с элементом 307 передачи тепла, и подходит для обеспечения и остановки потока через элемент 307 передачи тепла. В частности, система 310 регулирования потока может включать регулируемый вручную клапан, клапан/клапан-пускатель и т.п.

В другом воплощении система 310 регулирования потока может объединять тепловую энергию из одного или более источников 308 тепла в систему генерации электрического тока (не показана). Например, система 310 регулирования потока может устанавливать параллельное соединение источника 308 тепла, генерирующего тепло, в систему электротурбины и систему 302 термохимического превращения. В одном воплощении система 302 термохимического превращения может включать несколько систем реакций периодического типа, которые могут получать тепло из одного или более источников 308 тепла (например, ядерного реактора). Таким образом, можно осуществлять несколько периодических процессов, параллельно или последовательно, которые отвечают общим требованиям в отношении превращения тепла и исходного сырья. В другом воплощении тепло можно передавать в один или более непрерывных термохимических реакторов, связанных параллельно с одной или более систем электротурбин.

В одном воплощении система 300 включает систему 312 подачи исходного сырья. В одном воплощении система 312 подачи исходного сырья находится в функциональном соединении с камерой 304 для термохимической реакции системы 302 термохимического превращения. В другом воплощении, система 312 подачи исходного сырья обеспечивает объем 305 исходного сырьевого материала и воды внутри камеры 304 для термохимической реакции. Система 312 подачи исходного сырья может включать любую систему подачи, известную в данной области техники, которая подходит для передачи выбранного количества исходного сырьевого материала, такого как твердый материал, сыпучий материал или жидкий материал, из одного или более источников исходного сырья внутри камеры 304 для термохимической реакции. Например, система 312 подачи исходного сырья может включать, не ограничиваясь указанными, конвейерную систему, систему передачи текучей среды и т.п.

Система 312 подачи исходного сырья может включать отдельные системы для передачи исходного сырья и передачи дополнительной воды в количестве, необходимом для целевой реакции. В альтернативном воплощении воду можно добавлять в исходное сырье перед подачей исходного сырья в реакционную камеру 304. Это можно осуществить в системе 312 подачи исходного сырья или перед поступлением в систему 312 подачи исходного сырья.

Систему регулирования влажности (не показана) можно обеспечить для определения влажности исходного сырья и при необходимости добавления воды. Такая система может включать детектор влажности, который непрерывно или периодически определяет влажность исходного сырья, сравнивает влажность с целевым диапазоном содержания воды и добавляет воду, если влажность находится ниже целевого диапазона. Можно также обеспечить сушилку в случае, если влажность превышает целевой диапазон, для сушки исходного сырьевого материала 305.

Исходный сырьевой материал 305 может включать любой углеродистый материал, известный в данной области техники. Например, исходный сырьевой материал 305 может включать, не ограничиваясь указанным, уголь, биомассу, биоматериал из смешанного источника, торф, гудрон, пластик, отходы и полигонные отходы. Например, в случае угля исходное сырье может включать, не ограничиваясь указанным, каменный уголь, полубитуминозный уголь, лигнит, антрацит и т.п. В качестве другого примера, в случае биомассы исходное сырье может включать древесный материал, такой как, не ограничиваясь указанным, древесина мягких пород или древесина твердых пород.

В данной заявке отмечается, что способность регулировать температуру, давление, время реакции, возможные способы предварительной обработки и возможные способы последующей обработки органического продукта может позволить использовать нескольких типов углеродистого исходного сырья в системе 300. Кроме того, способность совместно использовать или проводить переключение между типами исходного сырья может улучшить применение доступных источников и улучшить экономику производства пека в целом.

Снова обращаясь к фиг. 3, система 302 термохимического превращения включает любую камеру 304 для термохимической реакции, которая подходит для проведения пиролиза. В одном воплощении камера 304 для термохимической реакции выполнена для проведения реакции пиролиза исходного сырья 305. В другом воплощении камера 304 для термохимической реакции включает камеру для пиролиза.

В другом воплощении камера 304 для термохимической реакции включает камеру для пиролиза с беспламенной или низкопламенной горелкой. Камера для пиролиза системы 300 может включать любую камеру для термохимической реакции, которая подходит для проведения термохимического разложения органических молекул в отсутствие кислорода или в низкокислородной среде.

В одном воплощении камера 304 для термохимической реакции включает реактор для быстрого пиролиза, который подходит для превращения исходного сырья 305, такого как уголь, в продукты реакции, включая пек. Реактор для быстрого пиролиза может включать любую камеру для термохимической реакции, которая способна на проведение термохимического разложения органических молекул в отсутствие кислорода (или в среде с дефицитом кислорода) в пределах примерно двух секунд. Быстрый пиролиз в общих чертах описан в Roel J.M., Westerhof et al., "Effect of Temperature in Fluidized Bed Fast Pyrolysis of Biomass: Oil Quality Assessment in Test Units", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 49, issue 3 (2010), p. 1160-1168, которая во всей полноте включена в данную заявку посредством ссылки. Пиролиз и быстрый пиролиз также в общих чертах описан в Ayhan Demirbas et al., "An Overview of Biomass Pyrolysis", *Energy Sources*, vol. 24, issue 3 (2002), p. 471-482, которая во всей полноте включена в данную заявку посредством ссылки.

В другом воплощении камера 304 для термохимической реакции включает реактор для сверхкритического пиролиза, который подходит для превращения исходного сырья 305, такого как уголь или биомасса, в продукт реакции, такой как пек. Для целей настоящего описания "реактор для сверхкритического пиролиза" понимают как включающий любой реактор, сосуд для реакции или реакционную камеру, подходящие для проведения реакции пиролиза исходного сырьевого материала с помощью тепловой энергии, подаваемой от сверхкритической текучей среды. В другом воплощении камера 304 для термохимической реакции может включать, не ограничиваясь указанным, реактор с псевдоожиженным слоем.

В другом воплощении камера 304 для термохимической реакции может проводить один или более процессов экстракции в отношении исходного сырья. В другом воплощении камера для экстракции, находящаяся в функциональном соединении с камерой 304 для термохимической реакции, может проводить один или более процессов экстракции исходного сырья либо после первой, либо после второй стадии пиролиза. В одном воплощении камера 304 для термохимической реакции выполнена с возможностью удаления дополнительных соединений из исходного сырья в материале перед пиролизом. Например, камера 304 для термохимической реакции выполнена с возможностью извлечения по меньшей мере одного вещества из масел и липидов, сахаров или других кислородсодержащих соединений. В другом воплощении экстрагированные соединения можно собрать и хранить для получения дополнительных биопроизводных продуктов.

Может быть преимущественным удалять сахара из исходного сырьевого материала 305. Следует отметить, что сахара карамелизуются при повышенной температуре и могут действовать так, что блокируют проникновение сверхкритической текучей среды, такой как сверхкритический CO₂, в целлюлозную структуру исходного сырьевого материала 305. Кроме того, сахара, присутствующие в системе 302 термохимического превращения, могут также действовать разрушительно на находящиеся ниже по потоку слои катализатора (если такие есть). В данной заявке отмечается, что удаление сахаров способствует предотвращению образования кислородсодержащих соединений, таких как, не ограничиваясь указанными, фуруфураль, гидроксиметальфуруфураль, ванилин и т.п.

В одном воплощении система 302 термохимического превращения может экстрагировать материалы из исходного сырья 305 при температурах ниже 200°C. В данной заявке отмечается, что преимущественно экстрагировать сахара при температурах ниже 200°C, поскольку любое вещество из фруктозы, сахарозы и мальтозы карамелизуется при температурах ниже приблизительно 180°C. В связи с этим сверхкритическая текучая среда, посредством разрушения целлюлозного материала и вымывания сахаров, может служить для экстракции сахаров из исходного сырья 305 перед повышением температур во время пиролиза.

В другом воплощении камера 304 для термохимической реакции выполнена с возможностью предварительного нагревания исходного сырья 305 перед термическим разложением. В другом воплощении камера предварительного нагревания, функционально связанная с камерой 304 для термохимической реакции, выполнена с возможностью предварительного нагревания исходного сырья 305 перед термическим разложением. Например, камера 304 для термохимической реакции (или камера предварительного нагревания) может предварительно нагревать исходный сырьевой материал до температуры или около температуры, необходимой для перевода в жидкое состояние и/или пиролиза.

В другом воплощении камера 304 для термохимической реакции выполнена с возможностью предварительной обработки исходного сырья 305 перед термическим разложением. Например, в камере 304 для термохимической реакции можно проводить предварительное гидрирование исходного сырьевого материала водородом перед переводом в жидкое состояние и/или пиролизом. В частности, предварительная обработка исходного сырьевого материала водородом может помочь в извлечении материалов, таких как, не ограничиваясь указанным, сера, а также служить в качестве донора водорода для реакционноспособных частиц (т.е. стабилизировать свободные радикалы).

В альтернативном воплощении (не показано) система 302 термохимического превращения разделе-

на на несколько технологических камер для проведения различных стадий многостадийного термохимического процесса системы 300. Например, в одном воплощении первую камеру обеспечивают для первой стадии пиролиза при промежуточной температуре, вторую стадию обеспечивают для второй стадии пиролиза при температуре пиролиза, а камеру для экстракции обеспечивают для приведения целевого продукта пека в контакт с растворителем и экстракции растворителем. Исходное сырье 305 можно перемещать между камерами непрерывно или периодически.

Заявители отмечают, что, хотя приведенное выше описание указывает на то, что в некоторых воплощениях реакционные камеры для пиролиза и камера для экстракции могут существовать как отдельные камеры, это не должно интерпретироваться как ограничение. Скорее, в данной заявке предполагается, что каждую из двух или более термохимических стадий можно проводить в единственной реакционной камере.

В одном воплощении камера 304 для термохимической реакции включает многостадийную единственную камеру для термохимической реакции. В одном воплощении система 306 для термохимического превращения выполнена с возможностью переноса нескольких порций сверхкритической текучей среды через несколько температурных диапазонов в объем 305 исходного сырья, содержащегося внутри многостадийной единственной камере 304 для термохимической реакции для осуществления последовательности процессов термохимических реакций в отношении по меньшей мере части объема исходного сырья.

В другом воплощении система 306 передачи тепловой энергии выполнена с возможностью передачи первой части сверхкритической текучей среды во втором диапазоне температур в объем 305 исходного сырья, содержащегося внутри единственной камеры 304 для термохимической реакции, для осуществления процесса предварительного нагревания в отношении по меньшей мере части объема исходного сырья.

В другом воплощении система 306 передачи тепловой энергии выполнена с возможностью передачи второй части сверхкритической текучей среды в первом температурном диапазоне в объем 305 исходного сырья, содержащегося внутри единственной камеры 304 для термохимической реакции, для осуществления первой стадии пиролиза в отношении по меньшей мере части объема исходного сырья.

В другом воплощении система 306 передачи тепловой энергии выполнена с возможностью переноса третьей части сверхкритической текучей среды во втором температурном диапазоне в объем 305 исходного сырья, содержащегося внутри единственной камеры 304 для термохимической реакции, для осуществления второй стадии пиролиза в отношении по меньшей мере части объема исходного сырья.

В одном воплощении поток и температура сверхкритической текучей среды изменяют в пространственном отношении через камеру 304 для термохимической реакции. Например, чтобы изменить поток и/или температуру через реакционную камеру 304, несколько потоков сверхкритической текучей среды, каждый при разной температуре, может быть обеспечен перед вводом в единственную реакционную камеру. В связи с этим в вертикальной реакционной камере скорость потока и температура в нескольких положениях в пространстве, соответствующих различным термохимическим стадиям, могут изменяться. В качестве другого примера температура сверхкритической текучей среды может изменяться вдоль длины камеры 304 для термохимической реакции. В частности, поток сверхкритического CO_2 низкой температуры можно объединять с потоком CO_2 при более высокой температуре (например, от 70 до 150°C) для растворения сахаров. В другой точке ниже по потоку (например, на 1-3 м ниже по потоку со средней скоростью потока 0,25-4 м/с) сверхкритический CO_2 при температурах пиролиза или выше этих температур смешивают в камере. Путем установки температур различных стадий термохимических реакций по длине скорость потока можно использовать для регулирования времен реакций.

Кроме того, предполагают, что две или более термохимических стадий, таких как пиролиз, экстракция и разделение, проводят в термохимической камере 304, а дополнительные стадии, такие как сушка и предварительное нагревание, проводят в предназначенной для этого камере, функционально связанной с камерой 304 для термохимической реакции.

Реакционные камеры могут включать один или более выходов 319, согласно одному или более воплощениям системы 300. В показанном воплощении на фиг. 3 реакционная камера 304 снабжена выходом для извлечения остатка исходного сырья, оставшегося после второй стадии пиролиза, и другим выходом для извлечения растворителя, насыщенного пеком и другими растворенными продуктами пиролиза. В одном воплощении выход для остатка исходного сырья, оставшегося после завершения второй стадии пиролиза, установлен для извлечения этого остатка и передачи его в систему 314 хранения остатков. В одном из воплощений система 314 хранения остатков может представлять собой просто барабан, железнодорожный вагон, контейнер с размерами, отвечающими стандартам Министерства обороны США (Conex box), или другой переносной контейнер. В альтернативном воплощении остаток можно хранить навалом для дальнейшей транспортировки.

Выход 319 для растворителя передает растворитель в этом воплощении cCO_2 в систему 320 разделения. В одном из воплощений выход включает клапан, который регулирует поток газа из реакционной камеры 304 в систему 320 разделения.

В одном из воплощений система 320 разделения на последовательных стадиях снижает температу-

ру и/или давление с получением различных растворенных компонентов. Например, возможно теплообменник для отвода тепла можно использовать до или после системы 320 разделения. На одной из этих стадий пек конденсируют и перемещают в экструдер 326 для пека. Пек можно промежуточно хранить в контейнере для хранения. Альтернативно пек можно сразу передавать в экструдер 326 после конденсации из cCO_2 .

В одном из воплощений каждая стадия соответствует камере для сбора, поддерживаемой при разных условиях температуры и давления, в которых растворенные продукты могут конденсироваться из растворителя. Потом в каждой камере собирают те продукты, которые конденсируются при температуре и давлении этой камеры. В одном из воплощений пек получают из камеры, поддерживаемой при температуре 350°C или выше и давлении 7,39 МПа или выше.

Экструдер для пека, как обсуждалось выше, экструдировывает пек в волокна, которым потом дают охладиться для применения прямо или опосредованно в качестве углеволокна.

Другие соединения в потоке растворителя, извлекаемого из реакционной камеры 304, собирают для последующей обработки или продажи в системе 322 сбора продукта. В одном воплощении сепаратор летучих газов и систему хранения можно обеспечить как часть системы 322 сбора продукта или системы 320 разделения. Сепаратор летучих газов может отделять один или более летучих газов из остатка одного или более продуктов реакции. Например, сепаратор летучих газов может отделять такие летучие газы, как, не ограничиваясь указанными, CH_4 , C_2H_4 , C_2H_6 , CO , CO_2 , H_2 и/или H_2O от твердых или жидких продуктов реакции. В данной заявке отмечается, что сепаратор летучих газов может включать любое устройство или способ отделения летучих газов, известные в данной области техники. Следует также отметить, что эти газы можно охлаждать, очищать, собирать и хранить для дальнейшего использования. Летучие газы можно производить для обеспечения источника водорода.

В показанном воплощении CO_2 возвращают 318 в источник 308 тепла для повторного применения после извлечения растворенных продуктов в системе замкнутого контура. В альтернативном воплощении CO_2 просто удаляют.

В другом воплощении (не показано) система 300 включает систему рекуперации тепла. В случае рекуперации система может извлекать тепло из cCO_2 до или как часть системы 320 разделения (или любой другой подходящей подсистемы системы 300) через замкнутый контур передачи тепла, действующей для термического соединения cCO_2 и системы рекуперации тепла. В одном воплощении извлеченное тепло может служить в качестве рекуператора или регенератора. В другом воплощении энергию можно рекуперировать после термохимического процесса, проведенного с помощью камеры 304. В другом воплощении извлеченную энергию можно использовать для предварительного нагревания исходного сырьевого материала перед термохимической обработкой. В другом воплощении извлеченную энергию можно использовать для производства вспомогательной энергии (например, механической энергии или электрической энергии) для одной или более подсистем системы 300.

На фиг. 4 показана схема технологического процесса для воплощения гибкой системы пиролиза в периодическом режиме, которую можно настроить для изменения продуктов пиролиза, полученных из заданного исходного сырья. В показанном воплощении исходное сырье будет представлять собой уголь. Однако специалисту понятно, что можно использовать любое углеродистое исходное сырье, такое как биомасса.

На фиг. 4 показана система пиролиза с замкнутым контуром CO_2 , аналогичная по действию описанной выше. В показанном воплощении на фиг. 4 камера для пиролиза представляет собой колонну 402, наполненную углем 404. Входящий поток сверхкритической текучей среды, такой как cCO_2 , поступает в верхнюю часть колонны и протекает через уголь 404. Регулируя скорость потока cCO_2 , время выдерживания или контакта cCO_2 с углем, можно проводить регулирование, как известно в данной области техники, для регулирования количества растворенных продуктов реакции в cCO_2 , наблюдаемых в выходящем из камеры потоке. В одном из воплощений cCO_2 , поступающий в камеру 402 пиролиза, может находиться при температуре в диапазоне $300\text{--}600^\circ\text{C}$ и давлении 7,39-12 МПа, так что пиролиз проходит в атмосфере CO_2 в сверхкритическом состоянии. Можно также использовать более высокие температуры и давления.

В периодической системе камера для пиролиза может представлять собой простую цилиндрическую камеру без каких-либо внутренних компонентов, кроме экрана, для сохранения положения угля. Несколько камер можно обеспечить параллельно, так что одна может находиться в использовании, пока из других удаляют обуглившееся вещество и загружают в них новый уголь. В альтернативном воплощении камера может быть снабжена смесителями или шнеками для перемещения угля во время пиролиза.

После приведения в контакт с углем 404 и пиролиза cCO_2 выходит из нижней части колонны 402 с растворенными продуктами пиролиза, как описано выше. Выходящий cCO_2 затем пропускают через контур рекуперации и конденсации, который извлекает растворенные продукты пиролиза и затем рекуперировывает CO_2 для повторного применения в камере 402 пиролиза. Контур рекуперации и конденсации включает последовательность одного или более рекуператоров 406, которые одновременно охлаждают поток выходящего CO_2 с помощью камеры 402 пиролиза, при этом предварительно нагревая входящий/возвратный поток CO_2 (в котором в основном были конденсированы продукты из этого потока), пода-

ваемый в камеру 402. В показанной системе 400 показаны четыре рекуператора 406: рекуператор 406а первой стадии, рекуператор 406б второй стадии, рекуператор 406с третьей стадии и рекуператор 406д четвертой стадии. Как описано ниже при необходимости можно использовать больше или меньше рекуператоров 406.

Рекуператоры 406 могут представлять собой теплообменник любого типа, известный в настоящее время или разработанный позже. В одном из воплощений, например, каждый рекуператор 406 может представлять собой теплообменники типа труба в трубе с выходящим CO_2 во внешней трубе и более холодным, входящим потоком CO_2 , протекающим через внутреннюю трубу. Однако любой тип теплообменника можно использовать в любой конфигурации, которая считается предпочтительной или желательной.

Помимо рекуператоров 406 может быть обеспечена необязательная стадия 408 завершающего охлаждения теплообменником как часть контура рекуперации и конденсации для осуществления окончательного понижения температуры CO_2 до целевой низкой температуры контура. Это достигается при использовании хладагента, такого как охлаждающая вода из показанной системы 424 охлаждающей воды, для осуществления окончательного охлаждения выходящего потока. Как и в случае рекуператоров 406, конечный теплообменник 408, если он используется, может представлять собой теплообменник любого типа.

Как упоминалось выше, сверхкритические условия для CO_2 - это температура выше $31,1^\circ\text{C}$ и давление выше 7,39 МПа. При описании системы CO_2 будут называть сверхкритическим, даже если в некоторых точках в системе условия будут падать ниже критической точки либо по температуре, либо по давлению. В этих точках следует понимать, что CO_2 может находиться в газообразном или жидком состоянии в зависимости от температуры и давления. Такие состояния могут возникать, например, ниже по потоку от пиролизера 402, например, в четвертом рекуператоре 406 или в конечном теплообменнике 408.

Например, в одном из воплощений низкая температура в контуре CO_2 может быть менее 50°C , такой как комнатная температура (20°C), и низкое давление может составлять 6-8 МПа. Можно использовать более низкие температуры и давления. В этом воплощении CO_2 может переходить в субкритическое состояние для удаления как можно больше продуктов пиролиза. В альтернативном воплощении контур температур и давления поддерживают так, что CO_2 остается в сверхкритическом состоянии по всей системе 400.

В показанном воплощении после каждого теплообменника в контуре имеется сосуд 410 для сбора конденсата. Каждый сосуд находится при последовательно более низкой температуре слева направо. Сосуд 410 для конденсации может представлять собой любой аппарат для активной или пассивной конденсации. Например, в показанном воплощении сосуд 410 для конденсации представляет собой погружной охлаждающий термостат, который обеспечивает поверхность с регулируемой температурой, над которой протекает CO_2 . Это приводит к тому, что любые продукты пиролиза, конденсируемые при регулируемой температуре или выше нее, собираются в сосуде 410 для конденсации. В альтернативном воплощении вместо погружного охлаждающего термостата можно использовать циклонный сепаратор. Другие возможные сосуды для конденсации включают конденсаторы Либиха, конденсаторы Грэма, змеевиковые конденсаторы и конденсаторы Аллина, и это лишь некоторые из них.

Где уместно, термин "технологический поток" будет использоваться для обозначения потока CO_2 в части контура CO_2 с CO_2 , протекающим из камеры 402 пиролиза через последний сосуд 410 для сбора конденсата, а термин "возвратный поток" или "входящий/возвратный поток" будет использоваться для обозначения потока CO_2 , протекающего через контур из последнего сосуда для конденсации через насос 420 и в итоге обратно в камеру 402 пиролиза. Обратите внимание, что возвратный поток может быть не полностью чистым CO_2 , но возможно будет содержать по меньшей мере следовые количества продуктов реакции, воды и других соединений, которые не полностью собраны в сосудах для конденсации. Технологический поток, с другой стороны, зависящий от положения внутри контура, будет содержать по меньшей мере некоторые и возможно весьма большие количества продуктов реакции пиролиза, которые будут последовательно удаляться различными сосудами 410 для конденсации.

В показанном воплощении разные рекуператоры могут работать при разных температурах. Например, в одном из воплощений первый рекуператор 406а может получать технологический поток CO_2 и растворенных продуктов реакции при примерно 550°C и выгружать его при 450°C . Второй рекуператор 406б может получать поток температуры 450°C и выгружать его при 300°C . Третий рекуператор 406с может получать поток температуры 300°C и выгружать его при 150°C . Четвертый рекуператор 406д может получать поток температуры 150°C и выгружать его при 50°C .

Возвратный поток CO_2 частично кондиционируют с помощью насоса/компрессора 420, который приводит CO_2 обратно к рабочему давлению (например, приблизительно 10 МПа), и нагревателем 422 для обеспечения CO_2 дополнительным теплом для приведения его к целевой температуре пиролиза. Например, в одном из воплощений насос/компрессор 420 получает CO_2 при примерно 10 МПа и сжимает поток до примерно 12 МПа, что обеспечивает достаточное давление для поддержания потока через весь контур CO_2 без дополнительных насосов. Нагреватель 422 может представлять собой единственный нагревательный блок или несколько параллельных и/или последовательных блоков в зависимости от пред-

почтения оператора. Например, в одном из воплощений обеспечивают три последовательных отдельных нагревателя, которые получают рекуперированный поток CO_2 из первого рекуператора 406а и нагревают поток от входящей температуры примерно 450°C до примерно 550°C . Аналогично может присутствовать единственный насос 420, как показано, или несколько насосов, распределенных по контуру CO_2 . Например, в одном из воплощений, в котором часть контура находится в условиях ниже сверхкритических, специальный нагреватель и/или компрессор (не показан) можно обеспечить исключительно для восстановления сверхкритического состояния CO_2 .

Обеспечивая несколько стадий пар теплообменников 406, 408 с последующими сосудами 410 для конденсации, можно разделять продукты пиролиза на фракции и собирать при температуре конденсации. Это позволяет легко отделять желаемые специфические фракции как часть процесса рекуперации. Обеспечивая больше или меньше стадий, можно достичь большей или меньшей степени дифференциации стадий, а также регулировать состав каждой фракции.

Кроме того, что имеется несколько стадий теплообменников 406, 408 с последующими сосудами 410 для конденсации, получают дополнительную гибкость при использовании обходного контура, создаваемого последовательностью перепускных клапанов 412 в части выходящего CO_2 контура и части входящего/возвратного CO_2 контура. В одном из воплощений один или более теплообменников снабжены возможностью для обхода, что позволяет полностью или частично обойти этот теплообменник одним или обоими выходящим потоком пиролиза и впускным/возвратным потоком. В показанном воплощении обеспечивают различные перепускные клапаны 412, которые позволяют полностью или частично обходить каждую из различных стадий по желанию оператора. На любом перепускном клапане 412 оператор может выбрать, какая часть входящего потока направляется на любое из выпускных отверстий клапана. Этот уровень регулирования потока обеспечивает существенную гибкость в работе системы 400 и обеспечивает дополнительное оперативное регулирование в отношении того, где в системе собирают различные фракции продуктов пиролиза.

Система пиролиза 400 может быть дополнительно снабжена системами введения добавок для введения добавок во входящий/возвратный поток CO_2 перед доставкой в камеру 402 пиролиза. В показанном воплощении показаны две системы введения добавок, каждая включает насос 414 для введения и подачу 416 добавок. Примеры добавок, описанные более подробно выше, включают H_2 , H_2O , муравьиную кислоту и тетралин. В одном из воплощений насос 414 для введения представляет собой ВЭЖХ насос для введения.

В еще одном воплощении (не показано) перепускные клапаны 412 можно обеспечить для обеспечения обхода одного или более сосудов 410 для конденсации. Это позволяет собирать объединенные продукты реакции при необходимости в меньшем количестве сосудов, тем самым увеличивая гибкость системы 400.

Регулятор 430 проиллюстрирован на фиг. 4. В одном из воплощений, регулятор 430 представляет собой программируемый логический регулятор, выполненный для контроля и регулирования системы 400 пиролиза для достижения желаемых результатов. Регуляторы могут быть реализованы многими различными способами, от специализированных аппаратных регуляторов до вычислительных устройств общего назначения, выполняющих регулирующее программное обеспечение. Регуляторы производственных процессы хорошо известны в данной области техники и может быть использована любая подходящая конструкция регулятора или комбинация конструкций, известная в настоящее время или разработанная позже.

Регулятор 430 регулирует распределение потока технологического потока и возвратного потока через различные стадии рекуператоров. Таким образом, можно изменять входящие и выходящие температуры потоков на каждой стадии. Уравнения теплопередачи, регулирующие теплообмен между горячим и холодным потоками в теплообменнике, хорошо известны и любая форма этих уравнений может использоваться регулятором для определения распределения потоков между стадиями, чтобы получить специфические температуры в специфических местах в контуре CO_2 . Например, одно основное уравнение теплообменника, которое можно использовать, - это общее уравнение теплообмена в противотоке, которое описывает передачи тепла через а:

$$\dot{m}_a c_{pa}(T_{a1}-T_{a2}) = \dot{m}_b c_{pb}(T_{b2}-T_{b1})$$

где \dot{m}_a - удельный массовый расход технологического потока,

c_{pa} - удельная теплоемкость технологического потока,

T_{a1} - входящая (высокая) температура технологического потока, поступающего на стадию рекуператора,

T_{a2} - выходящая (низкая) температура технологического потока,

\dot{m}_b - удельный массовый расход возвратного потока,

c_{pb} - удельная теплоемкость возвратного потока,

T_{b1} - входящая (низкая) температура возвратного потока, поступающего на стадию рекуператора, и

T_{b2} - выходящая (высокая) температура возвратного потока.

Из приведенного выше уравнения, как известно в данной области техники, могут быть выведены дополнительные уравнения, которые математически описывают эффективность рекуператора, часто в

отношении полного коэффициента теплопередачи для рекуператора, на основе его размеров и характеристик. Во многих случаях характеристические уравнения для теплообменника могут быть предоставлены производителем. Такие уравнения, если необходимо, решаются регулятором для определения того, как распределить течение потоков через стадии рекуператоров для достижения целей, поставленных оператором, примеры которых приведены ниже.

В одном из воплощений регулятор 430 находится в соединении с перепускными клапанами 412, нагревателем 422, системой 424 охлаждающей воды, дополнительными насосами 414 и другими компонентами системы 400 и может их регулировать. Кроме того, регулятор 430 может находиться в соединении с одним или более устройствами-контроллерами 426 или другим образом получать от них информацию или сигналы, от которых регулятор 430 получает данные, касающиеся состояния системы 400.

На фиг. 4 показано несколько устройств-контроллеров 426 в различных местах по всей системе 400. Устройства-контроллеры 426 могут представлять собой любой тип технологического монитора, анализатор или датчик, такой как, например, датчики расхода, температурные датчики, датчики давления, весы, pH датчики, спектрометры, фотоионизационные детекторы, газовые хроматографы, каталитические датчики, инфракрасные датчики и пламенно-ионизационные датчики, и это лишь некоторые из них. Устройства-контроллеры 426 могут при необходимости располагаться в любом месте системы 400. Например, в одном из воплощений газовый хроматограф можно использовать для периодического или непрерывного контроля и определения различных соединений и их относительных количеств в продуктах реакции в cCO_2 , выходящем из реакционной камеры 402. Альтернативно могут быть обеспечены датчики уровня жидкости на каждом сосуде для конденсации и на их основе можно определять относительную скорость образования конденсатов на каждой стадии рекуператоров.

На основании информации, полученной от устройств-контроллеров 426, регулятор 430 может менять поток через один или более перепускных клапанов и температуры одного или более потоков для получения желательной фракции углеводородного конденсата (т.е. диапазона молекулярных масс) в одном или более сосудов для конденсатов. Например, в одном из воплощений регулятор может быть предназначен для разделения и извлечения углеводородов, имеющих температуры кипения от 300 до 350°C. В этом воплощении поток через различные перепускные клапаны можно настроить так, чтобы технологический поток выходил из первого рекуператора 406a при температуре 350°C (в отличие от 450°C, как упоминалось выше) и выходил из второго рекуператора 406b при температуре 300°C. Этого можно достичь путем обхода части возвратного потока вокруг второго рекуператора 406b, так что относительно больший и более холодный возвратный поток перемещается через первый рекуператор 406a, повышая относительное количество охлаждения, осуществляемое на первой стадии. Таким образом, продукты реакции с температурами кипения 350°C собираются в сосуде 410 для конденсации между первым рекуператором 406a и вторым рекуператором 406b, а продукты реакции с температурами кипения от 300 до 350°C собираются в сосуде 410 для конденсации после второго рекуператора 406b.

Как можно видеть из приведенного выше примера, путем применения регулятора 430 и гибкости, достигаемой с помощью конструкции системы, рабочей конфигурации системы 400 можно изменять в реальном времени для достижения различных целей. Кроме того, положив в основу системы 400 регулирования информацию, полученную в реальном времени от датчиков и устройств-контроллеров, системе 400 можно настраивать во времени в ответ на изменение условий, таких как изменение качества исходного сырья. В этом аспекте с помощью регулятора 430 и нескольких стадий рекуператоров и сосудов для конденсации система 400 может быть легко сконфигурирована для разделения и сбора разных фракций углеводородов в разных сосудах для конденсации. При обеспечении большего количества стадий при необходимости можно обеспечить еще большую дифференциацию. Поскольку регулятор 430 может легко переконфигурировать перепускные клапаны 412, система 400 обладает уникальной способностью соответствовать разным требованиям к характеристикам на выходе или изменениям характеристик исходного сырья.

Кроме того, регулятор 430 также можно использовать для регулирования и оптимизации продуктов реакции, которые получают из реакции пиролиза. Например, в одном из воплощений регулятор 430 может напрямую или опосредованно регулировать температуру и/или давление в реакционной камере 402 для изменения относительных количеств разных продуктов реакции. В одном из воплощений изменения температуры или давления в реакционной камере можно осуществить в реальном времени, на основе информации контроля, полученной от датчиков и устройств-контроллеров. Например, данные контроля, указывающие на тип и количество различных продуктов реакции в cCO_2 , выходящем из реакционной камеры 402, могут быть представлены в регулятор 430. В ответ на заданные цели, например, для оптимизации подмножества продуктов реакции (например, максимизации производства продуктов реакции, имеющих температуры кипения от 250 до 350°C), регулятор 430 может затем интерактивно изменять температуру и/или давление в реакционной камере до тех пор, пока не будет получен оптимизированный профиль продуктов реакции, на основе текущих целей системы 400.

На фиг. 5A-5C проиллюстрированы экспериментальные характеристики воплощения системы, показанной на фиг. 4. На этих фигурах систему поочередно называют многостадийной системой сверхкритического перевода в жидкое состояние. В этом эксперименте воплощение системы, показанной на

фиг. 4, создали в лабораторном масштабе при использовании четырех рекуператоров и конечного теплообменника с охлаждающей водой, как проиллюстрировано. 1 кг Образца суббитуминозного угля из бассейна Паудер-Ривер помещали в колонну и подвергали пиролизу при использовании cCO_2 , как описано выше. В нижней части колонны был установлен мелкоячеистый экран для предотвращения выхода твердых частиц из камеры.

В начале контур обхода использовали для изоляции камеры для пиролиза до тех пор, пока система не дойдет до желательных температурных условий. После того как в контуре достигались температуры испытания, обход отключали и помещали в контур камеру для пиролиза. Выходящая температура cCO_2 , выходящего из камеры для пиролиза, приблизительно составляла 490°C , а входящая температура cCO_2 , поступающего в камеру для пиролиза, приблизительно составляла 500°C . Давление cCO_2 в камере для пиролиза приблизительно составляло 10 МПа, а удельный массовый расход cCO_2 , циркулирующего через контур, составлял от 4,5 до 10 кг/мин во время эксперимента. Система работала без обхода любого из пяти теплообменников, так что полный поток CO_2 проходил через каждую стадию теплообменника/сосуда для конденсации. Сосуды для конденсации представляли собой погружные охлаждающие термостаты и были сконфигурированы как бутылки 1-5, поддерживаемые при температурах, показанных на фиг. 5. Система работала в течение периода времени, затем анализировали конденсированные продукты пиролиза из сосудов для конденсации.

На фиг. 5A показан типичный выход жидкости, полученный при пиролизе партии угля при температуре сосуда для конденсации. Сосуды для конденсации представляли собой погружные охлаждающие термостаты и были сконфигурированы как бутылки 1-5, поддерживаемые при температурах, показанных на фиг. 5A.

Масс-спектроскопию проводили на фракциях конденсата, полученных из бутылей 2 и 5. На фиг. 5B показаны результаты из бутылки 2, а на фиг. 5B показаны результаты из бутылки 5. Как и следовало ожидать, результаты показывают, что в бутылки 2 с более высокой температурой конденсировалось значительно более высокое молекулярно-массовое распределение продукта, чем получено в бутылки 5 с более низкой температурой. Это показывает, что многостадийная система разделения является успешной в генерировании и разделении на фракции различных продуктов пиролиза углеродистого исходного сырья.

На фиг. 6 показано воплощение широкого способа пиролиза углеродистого исходного сырья с получением продуктов реакции при использовании CO_2 . Показанное воплощение обсуждается в отношении непрерывно продолжающегося процесса, в котором кондиционируют и возвращают рециклом CO_2 для повторного использования в замкнутом контуре. На фиг. 6 показано, что способ начинается с операции 602 приведения в контакт. В операции 602 приведения в контакт углеродистое исходное сырье выдерживают в контакте со сверхкритическим диоксидом углерода в течение некоторого периода времени при температуре пиролиза и давлении, достаточном и для поддержания CO_2 в сверхкритическом состоянии, и чтобы при этом проходил пиролиз. Получающийся в результате пиролиз приводит к тому, что по меньшей мере часть исходного сырья, превращаемого в обуглившееся вещество, генерирует некоторое количество продуктов реакции пиролиза, которые растворены в CO_2 .

Используемое время контакта или время выдерживания может быть выбрано оператором. Приведение в контакт может быть статическим, т.е. CO_2 не протекает через камеру приведения в контакт во время пиролиза. Скорее, в камеру загружают CO_2 и исходное сырье и затем дают им реагировать, с внутренним перемешиванием или без него или другим типом перемешивания. В этом случае время контакта представляет собой время, в течение которого CO_2 находится в сверхкритическом состоянии и внутри камеры для контакта с исходным сырьем. Альтернативно приведение в контакт может быть динамическим в том смысле, что CO_2 непрерывно протекает через камеру приведения в контакт с исходным сырьем. При динамическом приведении в контакт время выдержки рассчитывают по расходу CO_2 и объему камеры приведения в контакт.

Химический состав продуктов реакции пиролиза может меняться в некоторой степени при изменении условий пиролиза. Например, относительно более высокая температура и давление, используемые в операции 602 приведения в контакт, могут способствовать образованию некоторых продуктов реакции (например, более тяжелых углеводородов, таких как масла) по сравнению с другими (например, маслами со средними массами или более легкими углеводородными газами). Кроме того, добавки, такие как вода, муравьиная кислота, водород, или некоторые другие доноры водорода можно использовать для повышения доступности водорода во время пиролиза, что также изменит химический состав продуктов реакции. Другие добавки также можно использовать для воздействия на реакцию пиролиза и изменения химического состава продуктов реакции.

По истечении времени контакта сверхкритический CO_2 , теперь содержащий растворенные продукты реакции пиролиза, отделяют от обуглившегося вещества в операции 604 разделения. Операция разделения может проходить в виде удаления обуглившегося вещества из CO_2 или удаления CO_2 из обуглившегося вещества.

После операции 604 разделения, сверхкритический CO_2 затем охлаждают в операции 606 первого охлаждения до первой температуры и первого давления. Например, в одном из воплощений температура пиролиза и давление составляют 540°C и 11 МПа соответственно и первая температура и первое давле-

ние составляют 450 и 10,9 МПа. Операция 606 первого охлаждения может включать понижение температуры или температуры и давления CO_2 от температуры пиролиза и давления, используемых в операции 602 приведения в контакт. Кроме того, хотя упоминают операцию 606 охлаждения в одном из воплощений, "охлаждение" может состоять лишь из понижения давления CO_2 при сохранении температуры на уровне температуры пиролиза или близко к ней. Независимо от того, понижается ли температура, давление или оба температура и давление, операция 606 охлаждения вызывает изменение растворимости растворенных продуктов реакции и любых продуктов реакции, которые больше не растворимы в CO_2 и будут конденсироваться из CO_2 при первой температуре и давлении в виде конденсата.

Как часть операции 606 первого охлаждения или после нее конденсат, образовавшийся при операции 606 первого охлаждения, можно собрать и хранить для последующего применения. Содержимое этого конденсата будет определяться продуктами реакции, генерируемыми по реакции пиролиза, и первой температурой и давлением операции 606 первого охлаждения. Таким образом, как описано выше, путем выбора первой температуры и давления, химический состав конденсата, генерируемого при операции 606 первого охлаждения, можно регулировать для получения специфической фракции продуктов реакции пиролиза. Как только известны температуры, в одном из воплощений уравнения теплообменника можно использовать для определения относительных скоростей потока возвратного потока и технологического потока через различные рекуператоры, необходимые для достижения таких температур и, следовательно, целевого конденсата. На основе этой информации регулятор может затем устанавливать положения перепускных клапанов, что необходимо для получения определенных скоростей потока.

Затем CO_2 с оставшимися продуктами реакции подвергают операции 608 второго охлаждения. Аналогично операции 606 первого охлаждения операция 608 второго охлаждения понижает параметры состояния CO_2 от первой температуры и давления до второй температуры и давления. Как и прежде, это может включать понижение температуры, давления CO_2 или их обоих. Операцию второго охлаждения можно проводить при использовании того же оборудования, что и в операции 606 первого охлаждения, или путем пропуска CO_2 во второй набор оборудования (например, теплообменник, сосуд для охлаждения и т.д.), в котором проводят операцию второго охлаждения.

Как часть операции 608 второго охлаждения или после нее, конденсат, генерируемый при операции 608 второго охлаждения, можно собирать и хранить для дальнейшего применения. Содержимое второго конденсата будет определяться продуктами реакции, генерируемыми путем реакции пиролиза, первыми температурой и давлением, используемыми в операции 606 первого охлаждения, и вторыми температурой и давлением операции 608 второго охлаждения. Таким образом, как описано выше, путем выбора первых и вторых температур и давлений, химический состав конденсата, генерируемого при операции 606 второго охлаждения, можно регулировать для получения специфической фракции продуктов реакции пиролиза. Как только известны температуры, в одном из воплощений уравнения теплообменника можно использовать для определения относительных скоростей потока возвратного потока и технологического потока через различные рекуператоры, необходимые для достижения таких температур и, следовательно, желательного конденсата. На основе этой информации регулятор может затем устанавливать положения перепускных клапанов, что необходимо для получения определенных скоростей потока.

Можно проводить дополнительные операции охлаждения (не показаны). При использовании дополнительных операций охлаждения деление на фракции и сбор продуктов реакции можно хорошо регулировать. Например, 25 операций охлаждения можно использовать для получения очень чистых фракций конденсатов. Любое число операций охлаждения можно использовать при необходимости в зависимости от целей оператора. Ссылаясь на фиг. 4, на которой показана система с потенциально пятью операциями охлаждения, химический состав конденсатов каждой из пяти стадий можно изменять путем изменения относительных температур и давлений этих операций. Например, в одной конфигурации первые четыре операции охлаждения можно проводить при очень небольшой разнице температуры и/или давления: например, первая температура может составлять на 10°C меньше, чем температура пиролиза, вторая температура - на 20°C меньше, третья - на 30°C меньше и четвертая - на 40°C меньше, в то время как последняя температура может составлять 30°C , т.е. в конфигурации делятся на фракции продукты реакции с более высокой температурой (т.е. продукты реакции, которые конденсируются из CO_2 при более высокой температуре). В другой конфигурации разность температур может быть более равномерной между стадиями и в еще одной конфигурации температуры могут быть направлены на отделение фракций продуктов с более низкой температурой. Таким образом, как часть этого способа температуры и давления разных операций охлаждения можно регулировать для получения специфических желательных фракций продуктов реакции.

Наконец, CO_2 возвращают рециклом и повторно используют для дополнительного пиролиза в операции 610 повторного применения. Повторное применение можно осуществлять в непрерывной системе, в которой CO_2 непрерывно протекает в замкнутом контуре, так, как показано на фиг. 4. Альтернативно CO_2 можно хранить для повторного применения позже в периодической или полупериодической системе.

Как часть способа 600, CO_2 можно поддерживать в сверхкритическом состоянии в течение всего способа. Альтернативно CO_2 может быть переведен в докритическое состояние, например, в конечной

операции охлаждения, чтобы конденсировать и удалить как можно большее количество продуктов реакции перед возвращением CO_2 в сверхкритическое состояние в операции 610 повторного применения.

На фиг. 7 показано более подробное воплощение способа пиролиза угля с помощью сверхкритического CO_2 . В то время как способ 600 на фиг. 6 описан более широко для охвата любого периодического, полупериодического или непрерывного процесса пиролиза, способ 700 на фиг. 7 является более конкретным в отношении непрерывного процесса пиролиза, который разделяет на фракции продукты пиролиза от угля и возвращает рециклом CO_2 в непрерывно протекающий замкнутый контур.

В показанном воплощении на фиг. 7, способ 700 начинается с протекания входящего потока диоксида углерода (CO_2) в реакционную камеру, содержащую уголь в операции 702 введения сверхкритического CO_2 . В одном из воплощений температура входящего CO_2 потока составляет 300-600°C, а давление составляет 7-12 МПа.

Реакционную камеру поддерживают при таких температуре и давлении пиролиза, которые достаточны для поддержания CO_2 в реакционной камере в сверхкритическом состоянии. Это проиллюстрировано на фиг. 7 с помощью операции 704 пиролиза. Операция 704 пиролиза может включать активное регулирование температуры и давления реакционной камеры. Например, внутренний или внешний нагреватель можно использовать для добавления тепла непосредственно в реакционную камеру для регулирования ее температуры. Аналогично давление можно регулировать путем настройки скорости потока входящего и выходящего потоков CO_2 . Альтернативно температуру и давление реакционной камеры можно регулировать опосредованно только путем регулирования температуры и скорости потока входящего потока. Таким образом, проводят пиролиз угля с получением обуглившегося вещества и сверхкритического CO_2 , содержащего растворенные продукты пиролиза в операции 704 пиролиза. Как обсуждалось выше со ссылкой на фиг. 6, химический состав продуктов реакции можно до определенной степени регулировать путем изменения температуры и давления в реакционной камере, а также путем применения некоторых добавок.

После времени контакта, определяемого скоростью потока CO_2 через реакционную камеру и объемом CO_2 в камере, сверхкритический CO_2 , содержащий растворенные продукты пиролиза, затем протекает как выходящий поток реактора из реакционной камеры через выпуск в выходящий поток операции 706 выгрузки.

Выходящий поток затем проходит в первый рекуператор в первой операции 706а рекуперации и сбора. В этой операции 706а выходящий поток реактора охлаждают в первом рекуператоре путем переноса тепла к возвратному потоку CO_2 по его пути обратно в реакционную камеру. Выходящий поток охлаждают до первой температуры, которая меньше температуры реакции пиролиза, на основании температур и скоростей потока двух потоков CO_2 , т.е. выходящего потока и возвратного потока, проходящих через первый рекуператор.

Охлаждение выходящего потока приводит к тому, что растворенные продукты реакции, которые конденсируются при температурах выше первой температуры, если такие есть, конденсируются из CO_2 в выходящем потоке. Первая операция 706а рекуперации и сбора включает сбор этого конденсата первой стадии в накопителе, таком как сосуд для сбора, как показано на фиг. 4. Она также включает выгрузку выходящего с первой стадии потока CO_2 , который содержит любые растворенные продукты реакции, не удаленные в виде конденсата первой стадии.

Следует подчеркнуть, что не весь выходящий поток может быть обработан в первой операции 706а рекуперации и сбора. В одном из воплощений некоторая часть выходящего потока может быть направлена на более позднюю стадию рекуператора и обрабатываться на более поздней операции рекуперации и сбора. Это отведение части выходящего потока можно осуществить для регулирования химического состава конденсатов, полученных на разных ступенях.

Выходящий поток CO_2 с первой стадии затем пропускают во второй рекуператор во второй операции 706b рекуперации и сбора. В этой операции 706b, выходящий с первой стадии CO_2 поток реактора охлаждают во втором рекуператоре путем переноса тепла к возвратному потоку CO_2 по его пути обратно в реакционную камеру. Выходящий с первой стадии поток CO_2 охлаждают до второй температуры, которая меньше, чем первая температура, на основании температур и скоростей потока двух потоков CO_2 , т.е. выходящего с первой стадии потока CO_2 и возвратного потока, проходящих через второй рекуператор.

Как и раньше, охлаждение выходящего потока приводит к тому, что растворенные продукты реакции, оставшиеся в выходящем с первой стадии потоке CO_2 , которые конденсируются при температурах выше второй температуры, если такие имеются, конденсируются из CO_2 . Вторая операция 706b рекуперации и сбора включает сбор конденсата этой второй стадии в накопителе, таком как сосуд для сбора, как показано на фиг. 4. Она также включает выгрузку выходящего со второй стадии потока CO_2 , который содержит любые оставшиеся растворенные продукты реакции, не удаленные в виде конденсата второй стадии.

Как и раньше, не весь выходящий с первой стадии поток CO_2 нужно пропускать во второй рекуператор и некоторая часть выходящего с первой стадии потока CO_2 может быть отведена в более позднюю операцию рекуперации и сбора для изменения химического состава конденсатов на более поздних стадиях.

Любое количество дополнительных операций рекуперации и сбора можно осуществить в спо-

собе 700. Это проиллюстрировано на фиг. 7 с помощью эллипса и n-ной стадии операции 706n рекуперации и сбора. Каждая из операций 706a-n рекуперации и сбора может быть идентичной за исключением рабочих температур и давлений двух вовлеченных потоков CO_2 . Конденсаты, извлекаемые из каждой операции 706a-n, можно регулировать путем отвода части технологического потока и/или возвратного потока вокруг и в различные операции 706a-n с получением желательных конденсатов. Распределение потоков через разные операции 706a-n рекуперации и сбора можно регулировать вручную или регулировать автоматически в помощь регулятора для сбора разных фракций на разных стадиях, как описано выше.

Следует отметить, что одна или более операций 706a-n, как, например, конечная операция 706n рекуперации и сбора, как на фиг. 4, может не включать рекуперацию тепла из технологического потока. Т.е. вместо пропускания тепла в возвратный поток CO_2 и эффективной рециркуляции этой энергии, тепло можно просто удалять, например, путем его передачи в поток холодной воды и либо выгрузки, либо рециклинга для другой цели.

Кроме того, не все операции 706a-n рекуперации и сбора должны включать сбор конденсата в отдельном сосуде. Вместо этого некоторые конденсаты могут быть направлены на последующие стадии рекуператоров для дальнейшего сбора в расположенной ниже по потоку операции рекуперации и сбора.

После последних операций 706n рекуперации и сбора, выходящий с последней стадии поток CO_2 затем кондиционируют путем его пропускания в качестве возвратного потока через различные стадии рекуперации в операции 708 кондиционирования. Операция 708 кондиционирования может включать сжатие возвратного потока и/или нагревание возвратного потока в одном или более местах в системе возвратного контура CO_2 . Например, на фиг. 4 возвратный поток сжимают с помощью насоса 420 сразу после пятой операции рекуперации и сбора (в этом случае рекуперация не является истинной, так как тепло удаляют при использовании потока холодной воды) и нагревают с помощью нагревателя 422 непосредственно перед введением в реакционную камеру 402.

Следует отметить, что в операции 708 кондиционирования могут или могут не очищаться от CO_2 оставшиеся продукты реакции. В одном из воплощений некоторые следовые количества продуктов реакции и/или других соединений, таких как вода, остаются в возвратном потоке CO_2 , когда его вводят в реакционную камеру.

После кондиционирования возвратный поток CO_2 затем вводят в реакционную камеру в виде входящего потока в операции 402 введения. Это проиллюстрировано на фиг. 7 с помощью возвратной стрелки из операции 708 кондиционирования в операцию 702 введения.

Независимо от прилагаемой формулы изобретения раскрытие настоящего изобретения определяется следующими пронумерованными пунктами.

1. Способ, включающий
 - проведение пиролиза комбинации углеродистого исходного сырья при первой температуре и первом давлении и в течение первого периода времени для образования $\text{C}_1\text{-C}_4$ газов;
 - повышение температуры этой комбинации до второй температуры, которая больше первой температуры;
 - проведение пиролиза этой комбинации при второй температуре и в течение второго периода времени для образования пека; и
 - экстракцию пека из этой комбинации.
2. Способ по п.1, дополнительно включающий изготовление углеродистых волокон из пека.
3. Способ по п.1 или 2, в котором первая температура составляет $150\text{-}350^\circ\text{C}$ и первое давление составляет $7\text{-}30$ МПа.
4. Способ по п.1, 2 или 3, в котором вторая температура составляет $350\text{-}550^\circ\text{C}$.
5. Способ по любому из пп.1-4, в котором первый период времени составляет по длительности от 1 до 120 мин.
6. Способ по любому из пп.1-5, в котором первый период времени определяют на основании количества по меньшей мере одного $\text{C}_1\text{-C}_4$ газа, генерированного при первой температуре из углеродистого исходного сырья.
7. Способ по любому из пп.1-6, в котором второй период времени составляет от 1 мин до 24 ч.
8. Способ по любому из пп.1-7, в котором проведение пиролиза углеродистого исходного сырья при первой температуре и первом давлении проводят в первой реакционной камере для пиролиза.
9. Способ по любому из пп.1-8, в котором проведение пиролиза углеродистого исходного сырья при второй температуре проводят в первой реакционной камере для пиролиза.
10. Способ по любому из пп.1-8, в котором проведение пиролиза углеродистого исходного сырья при второй температуре проводят во второй реакционной камере для пиролиза, отличной от первой реакционной камеры для пиролиза.
11. Способ по любому из пп.1-10, в котором проведение пиролиза углеродистого исходного сырья при первой температуре и первом давлении проводят в атмосфере диоксида углерода.
12. Способ по любому из пп.1-11, дополнительно включающий контроль концентрации одного или более $\text{C}_1\text{-C}_4$ газов в атмосфере пиролиза.

13. Способ по п.12, в котором экстракция пека включает перенос атмосферы диоксида углерода в систему разделения.
14. Способ по п.12 или 13, в котором экстракция пека включает понижение по меньшей мере одного из температуры или давления атмосферы диоксида углерода.
15. Способ по любому из пп.1-14, в котором изготовление углеволокон из пека включает экструзию пека.
16. Способ по любому из пп.1-15, в котором изготовление углеволокон из пека включает изготовление волокон из пека.
17. Способ образования пека из угля, включающий
нагревание реакционной камеры, содержащей комбинацию угля в атмосфере диоксида углерода до первой температуры и первого давления;
поддерживание реакционной камеры при первой температуре и первом давлении в течение первого периода времени, достаточного для образования C_1-C_4 газов в этой атмосфере;
повышение температуры реакционной камеры до второй температуры, которая больше первой температуры;
поддерживание реакционной камеры при второй температуре и в течение второго периода времени с образованием при этом по меньшей мере части пека;
извлечение диоксида углерода и растворенного в нем пека из реакционной камеры после второго периода времени; и
отделение пека от диоксида углерода, извлеченного из реакционной камеры.
18. Способ по п.17, дополнительно включающий изготовление волокон из пека.
19. Способ по п.17 или 18, в котором первая температура составляет 150-350°C и первое давление составляет 7-30 МПа.
20. Способ по любому из пп.17-19, в котором вторая температура составляет 380-550°C.
21. Способ по любому из пп.17-20, в котором первый период времени составляет по длительности от 1 до 120 мин.
22. Способ по любому из пп.17-21, в котором первый период времени определяют на основании количества по меньшей мере одного C_1-C_4 газа, генерированного при первой температуре из углеродистого исходного сырья.
23. Способ по любому из пп.17-22, в котором второй период времени составляет от 1 мин до 24 ч.
24. Способ по любому из пп.17-23, дополнительно включающий контроль концентрации одного или более газов в атмосфере диоксида углерода.
25. Способ по любому из пп.17-24, в котором извлечение диоксида углерода и растворенного в нем пека из реакционной камеры включает перенос атмосферы диоксида углерода в систему разделения.
26. Способ по любому из пп.17-25, в котором отделение пека от диоксида углерода включает понижение температуры, давления диоксида углерода или их обоих.
27. Способ по любому из пп.17-26, дополнительно включающий использование пека для образования углеволокон.
28. Способ по п.27, в котором использование пека для образования углеволокон включает экструзию пека в волокна.
29. Система для изготовления волокон из угля, содержащая
по меньшей мере одну реакционную камеру, способную проводить пиролиз комбинации угля в атмосфере диоксида углерода;
систему разделения, предназначенную для приема атмосферы диоксида углерода из реакционной камеры после пиролиза угля и конденсации пека из диоксида углерода в контейнере для пека; и
экструдер, соединенный с системой разделения, предназначенной для приема и экструзии пека, конденсированного с помощью системы разделения.
30. Система по п.29, в которой реакционная камера способна нагревать комбинацию до по меньшей мере 550°C при давлении вплоть до 7-30 МПа.
31. Система по п.29 или 30, дополнительно содержащая источник тепла, который обеспечивает тепловую энергию в реакционной камере.
32. Система по любому из пп.29-32, дополнительно содержащая ядерный реактор, который обеспечивает тепловую энергию в реакционную камеру.
33. Система по любому из пп.29-32, в которой реакционная камера способна нагревать диоксид углерода до сверхкритического состояния.
34. Система по любому из пп.29-33, дополнительно содержащая газовый контроллер, способный контролировать концентрацию одного или более газов в атмосфере диоксида углерода реакционной камеры.
35. Система по любому из пп.29-34, дополнительно содержащая клапан, который регулирует поток диоксида углерода из реакционной камеры в систему разделения.
36. Система по любому из пп.29-35, в которой система разделения включает по меньшей мере камеру для сбора пека, выполненную с возможностью конденсации пека из диоксида углерода.

37. Система по любому из пп.29-36, в которой камера для сбора пека соединена с экструдером.
38. Способ, включающий
приведение углеродистого исходного сырья в контакт с диоксидом углерода (CO_2) в сверхкритическом состоянии в течение периода контакта при температуре пиролиза и давлении, с проведением при этом пиролиза исходного сырья с получением обуглившегося вещества и сверхкритического CO_2 с растворенными продуктами реакции пиролиза;
отделение по меньшей мере части сверхкритического CO_2 с растворенными продуктами реакции пиролиза от обуглившегося вещества;
охлаждение сверхкритического CO_2 , содержащего с растворенными продукты реакции пиролиза, до температуры и давления первой стадии, отличных от температуры и давления пиролиза, с получением газообразного продукта CO_2 первой стадии и конденсированного продукта пиролиза первой стадии;
охлаждение газообразного продукта CO_2 первой стадии до температуры и давления второй стадии, отличных от температуры и давления первой стадии, с получением газообразного продукта CO_2 второй стадии и конденсированного продукта пиролиза второй стадии; и
повторное применение по меньшей мере части CO_2 из газообразного продукта CO_2 второй стадии в последующей реакции пиролиза.
39. Способ по п.38, дополнительно включающий регулирование температуры и давления первой стадии для получения продукта реакции первого пиролиза в конденсированном продукте пиролиза первой стадии.
40. Способ по п.39, в котором регулирование температуры первой стадии дополнительно включает установку положения одного или более первых перепускных клапанов, выбирая при этом скорость потока CO_2 в первый рекуператор.
41. Способ по любому из пп.38-40, дополнительно включающий регулирование температуры и давления второй стадии для получения продукта реакции второго пиролиза в конденсированном продукте пиролиза второй стадии, причем продукт реакции второго пиролиза отличается от продукта реакции первого пиролиза.
42. Способ по п.41, в котором регулирование температуры второй стадии дополнительно включает установку положения одного или более вторых перепускных клапанов, выбирая при этом скорость потока потока CO_2 во второй рекуператор.
43. Способ, включающий
протекание входящего потока диоксида углерода (CO_2) в сверхкритическом состоянии в реакционную камеру, содержащую уголь;
извлечение после времени контакта сверхкритического CO_2 , содержащего растворенные продукты пиролиза, из реакционной камеры в виде выходящего потока;
направление первой части выходящего потока через рекуператор/накопитель первой стадии, в котором выходящий поток охлаждает возвратным потоком CO_2 на пути в реакционную камеру, причем рекуператор/накопитель первой стадии содержит накопитель конденсата после рекуператора, для получения выходящего с первой стадии потока CO_2 и конденсированного продукта пиролиза первой стадии;
направление по меньшей мере части выходящего с первой стадии потока CO_2 через рекуператор/накопитель второй стадии для получения выходящего со второй стадии потока CO_2 и конденсированного продукта пиролиза второй стадии; и
кондиционирование по меньшей мере части CO_2 из выходящего с первой стадии потока CO_2 и/или выходящего со второй стадии потока CO_2 путем пропуска по меньшей мере части CO_2 в виде возвратного потока через рекуператор/накопитель первой стадии для получения входящего потока CO_2 .
44. Способ по п.43, дополнительно включающий направление второй части выходящего потока через рекуператор/накопитель второй стадии.
45. Способ по п.43 или 44, дополнительно включающий поддержание реакционной камеры при температуре и давлении пиролиза, достаточного для поддержания CO_2 в реакционной камере в сверхкритическом состоянии, с проведением при этом пиролиза угля с получением обуглившегося вещества и сверхкритического CO_2 , содержащего растворенные продукты пиролиза.
46. Способ по любому из пп.43-45, в котором температура входящего потока CO_2 составляет 300-600°C и давление составляет 7-30 МПа.
47. Способ по любому из пп.43-46, дополнительно включающий протекание по меньшей мере части CO_2 и потока растворенных продуктов пиролиза через рекуператор/накопитель третьей стадии с получением выходящего с третьей стадии потока CO_2 и конденсированного продукта пиролиза третьей стадии.
48. Способ по п.47, дополнительно включающий протекание по меньшей мере части CO_2 и потока растворенных продуктов пиролиза через рекуператор/накопитель четвертой стадии с получением выходящего с четвертой стадии потока CO_2 и конденсированного продукта пиролиза четвертой стадии.
49. Способ по п.48, дополнительно включающий протекание по меньшей мере части CO_2 и потока растворенных продуктов пиролиза через рекуператор/накопитель пятой стадии с получением выходящего с пятой стадии потока CO_2 и конденсированного продукта пиролиза пятой стадии.
50. Способ по п.49, в котором все рекуператоры/накопители первой, второй, третьей, четвертой и

пятой стадий работают при разных температурах.

51. Способ по любому из пп.43-50, дополнительно включающий регулирование разных температур рекуператоров/накопителей стадий путем установки положения одного или более перепусковых клапанов.

52. Система для проведения пиролиза угля, содержащая по меньшей мере одну реакционную камеру, способную проводить пиролиз комбинации угля в атмосфере сверхкритического диоксида углерода (CO_2); и контур рекуперации и конденсации, который извлекает по меньшей мере часть растворенных продуктов пиролиза из атмосферы сверхкритического CO_2 и затем возвращает CO_2 для повторного применения в реакционной камере.

53. Система по п.52, в которой реакционная камера способна нагревать эту комбинацию до по меньшей мере 350°C при давлении 7-30 МПа.

54. Система по п.52 или 53, дополнительно содержащая источник тепла, который обеспечивает тепловую энергию в атмосферу CO_2 перед доставкой атмосферы CO_2 в реакционную камеру.

55. Система по п.54, в которой источник тепла представляет собой ядерный реактор.

56. Система по любому из пп.52-55, в которой контур рекуперации и конденсации включает одну или более стадий рекуператоров/накопителей, причем каждая стадия рекуператора/накопителя имеет теплообменник и накопитель конденсата, соединенные для приема атмосферы CO_2 из реакционной камеры в виде технологического потока CO_2 , передачи тепла от технологического потока CO_2 в возвратный поток CO_2 и конденсации и сбора продуктов пиролиза из охлажденного технологического потока CO_2 .

57. Система по пп.52-56, дополнительно содержащая систему введения добавок, которая вводит одну или более добавок в возвратный поток CO_2 и/или реакционную камеру.

58. Система по п.56 или 57, дополнительно содержащая систему обхода, включающую множество перепусковых клапанов для технологического потока, которая распределяет поток технологического потока CO_2 в одну или более стадий рекуператоров/накопителей; и регулятор, который регулирует множество перепусковых клапанов для технологического потока, регулируя при этом поток технологического потока CO_2 в одну или более стадий рекуператоров/накопителей.

59. Система по любому из пп.56-58, дополнительно содержащая систему обхода, которая дополнительно включает множество перепусковых клапанов для возвратного потока, которая распределяет поток возвратного потока CO_2 в одну или более стадий рекуператоров/накопителей и в которой регулятор регулирует множество перепусковых клапанов для возвратного потока, регулируя при этом поток возвратного потока CO_2 в одну или более стадий рекуператоров/накопителей.

60. Система по любому из пп.56-59, в которой регулятор определяет фракцию конденсата, собранную с помощью по меньшей мере одной из стадий рекуператора/накопителя путем регулирования, с помощью системы обхода, потока технологического потока CO_2 и возвратного потока CO_2 через стадии рекуператоров/накопителей.

61. Система по п.60, в которой регулятор определяет фракцию конденсата, собранную с помощью по меньшей мере одной из стадий рекуператоров/накопителей на основании предварительно заданной цели.

62. Система по п.60, в которой регулятор регулирует фракцию конденсата, собранную с помощью по меньшей мере одной из стадий рекуператора/накопителя на основании информации, получаемой от одного или более датчиков температуры, контролирующей температуру в одном или более местах в контуре рекуперации и конденсации.

Будет понятно, что системы и способы, описанные в данной заявке, хорошо приспособлены для достижения упомянутых целей и преимуществ, а также тех, которые им присущи. Специалистам в данной области техники будет понятно, что способы и системы в данном описании могут быть реализованы многими способами и как таковые не должны ограничиваться приведенными выше для примера воплощениями и примерами. В связи с этим любое количество признаков из разных воплощений, описанных в данной заявке, может быть объединено в одном воплощении, и возможны альтернативные воплощения, включающие меньшее или большее количество признаков по сравнению со всеми признаками, описанными в данной заявке.

Хотя для целей настоящего раскрытия были описаны различные воплощения, могут быть сделаны различные изменения и модификации, которые находятся в пределах объема, предусмотренного настоящим раскрытием. Например, в одном из воплощений атмосфера двухстадийных способов пиролиза может отличаться от атмосферы sCO_2 , описанной выше, хотя при этом все еще используют sCO_2 в качестве растворителя в операциях экстракции и извлечения пека указанных способов. В этом воплощении атмосфера пиролиза может быть удалена и заменена на sCO_2 как часть операции экстракции.

Могут быть внесены многочисленные другие изменения, которые легко могут предположить специалисты в данной области техники и которые не выходят за рамки сущности настоящего раскрытия.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

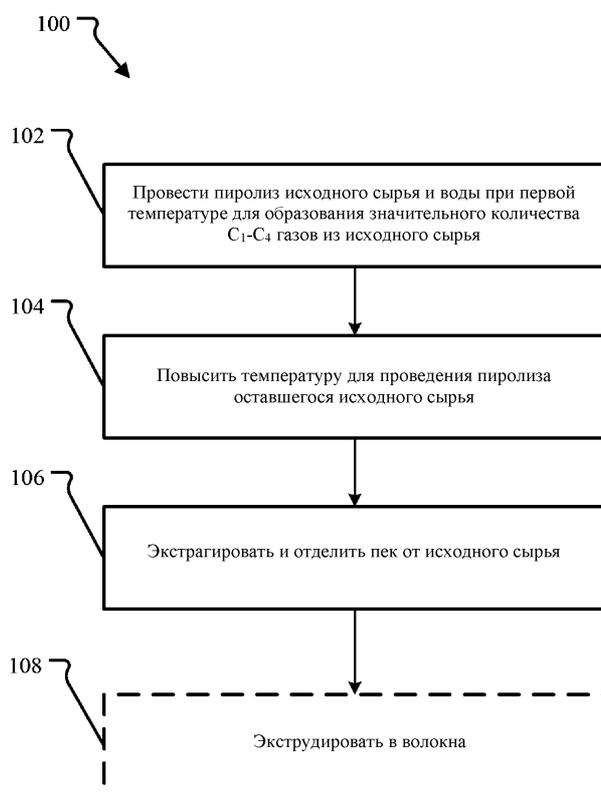
1. Способ пиролиза угля, включающий протекание входящего потока диоксида углерода (CO_2) в сверхкритическом состоянии в реакционную камеру, содержащую уголь;
 - поддерживание реакционной камеры при температуре и давлении пиролиза, достаточных для поддержания CO_2 в реакционной камере в сверхкритическом состоянии, с проведением при этом пиролиза угля с получением обуглившегося вещества и сверхкритического CO_2 , содержащего растворенные продукты пиролиза;
 - извлечение после времени контакта сверхкритического CO_2 , содержащего растворенные продукты пиролиза, из реакционной камеры в виде выходящего потока;
 - направление первой части выходящего потока через рекуператор/накопитель первой стадии, в котором выходящий поток охлаждают возвратным потоком CO_2 на пути в реакционную камеру, причем рекуператор/накопитель первой стадии содержит накопитель конденсата после рекуператора для получения выходящего с первой стадии потока CO_2 и конденсированного продукта пиролиза первой стадии;
 - направление по меньшей мере части выходящего с первой стадии потока CO_2 через рекуператор/накопитель второй стадии для получения выходящего со второй стадии потока CO_2 и конденсированного продукта пиролиза второй стадии; и
 - кондиционирование по меньшей мере части CO_2 из выходящего с первой стадии потока CO_2 или выходящего со второй стадии потока CO_2 путем пропускания по меньшей мере части CO_2 в виде возвратного потока через рекуператор/накопитель первой стадии для получения входящего потока CO_2 .
2. Способ по п.1, дополнительно включающий направление второй части выходящего потока через рекуператор/накопитель второй стадии.
3. Способ по п.1 или 2, в котором температура входящего потока CO_2 составляет 300-600°C и давление составляет 7-30 МПа.
4. Способ по п.1, дополнительно включающий протекание по меньшей мере части CO_2 и потока растворенных продуктов пиролиза через рекуператор/накопитель третьей стадии с получением выходящего с третьей стадии потока CO_2 и конденсированного продукта пиролиза третьей стадии.
5. Способ по п.4, дополнительно включающий протекание по меньшей мере части CO_2 и потока растворенных продуктов пиролиза через рекуператор/накопитель четвертой стадии с получением выходящего с четвертой стадии потока CO_2 и конденсированного продукта пиролиза четвертой стадии.
6. Способ по п.5, дополнительно включающий протекание по меньшей мере части CO_2 и потока растворенных продуктов пиролиза через рекуператор/накопитель пятой стадии с получением выходящего с пятой стадии потока CO_2 и конденсированного продукта пиролиза пятой стадии.
7. Способ по п.6, в котором рекуператоры/накопители первой, второй, третьей, четвертой и пятой стадий работают при разных температурах.
8. Способ по п.1 или 2, дополнительно включающий регулирование разных температур стадий рекуператоров/накопителей путем установки положения одного или более перепускных клапанов.
9. Система для осуществления способа по любому из пп.1-8, содержащая по меньшей мере одну реакционную камеру, способную проводить пиролиз комбинации угля в атмосфере сверхкритического диоксида углерода (CO_2); и контур рекуперации и конденсации, который извлекает по меньшей мере часть растворенных продуктов пиролиза из атмосферы сверхкритического CO_2 и затем возвращает CO_2 для повторного применения в реакционной камере;
 - в которой контур рекуперации и конденсации включает две или более стадий рекуператоров/накопителей, причем каждая стадия рекуператора/накопителя имеет теплообменник и накопитель конденсата, соединенные для приема атмосферы CO_2 из реакционной камеры в виде технологического потока CO_2 , передачи тепла от технологического потока CO_2 в возвратный поток CO_2 и конденсации и сбора продуктов пиролиза из охлажденного технологического потока CO_2 .
10. Система по п.9, в которой реакционная камера способна нагревать эту комбинацию до по меньшей мере 350°C при давлении 7-30 МПа.
11. Система по п.9 или 10, дополнительно содержащая источник тепла, который обеспечивает тепловую энергию в атмосферу CO_2 перед доставкой атмосферы CO_2 в реакционную камеру.
12. Система по п.11, в которой источник тепла представляет собой ядерный реактор.
13. Система по п.9, дополнительно содержащая систему введения добавок, которая вводит одну или более добавок в возвратный поток CO_2 или реакционную камеру.
14. Система по п.9, дополнительно содержащая систему обхода, включающую множество перепускных клапанов для технологического потока, которая распределяет поток технологического потока CO_2 в одну или более стадий рекуператоров/накопителей; и регулятор, который регулирует множество перепускных клапанов для технологического потока, регулируя при этом поток технологического потока CO_2 в одну или более стадий рекуперато-

ров/накопителей.

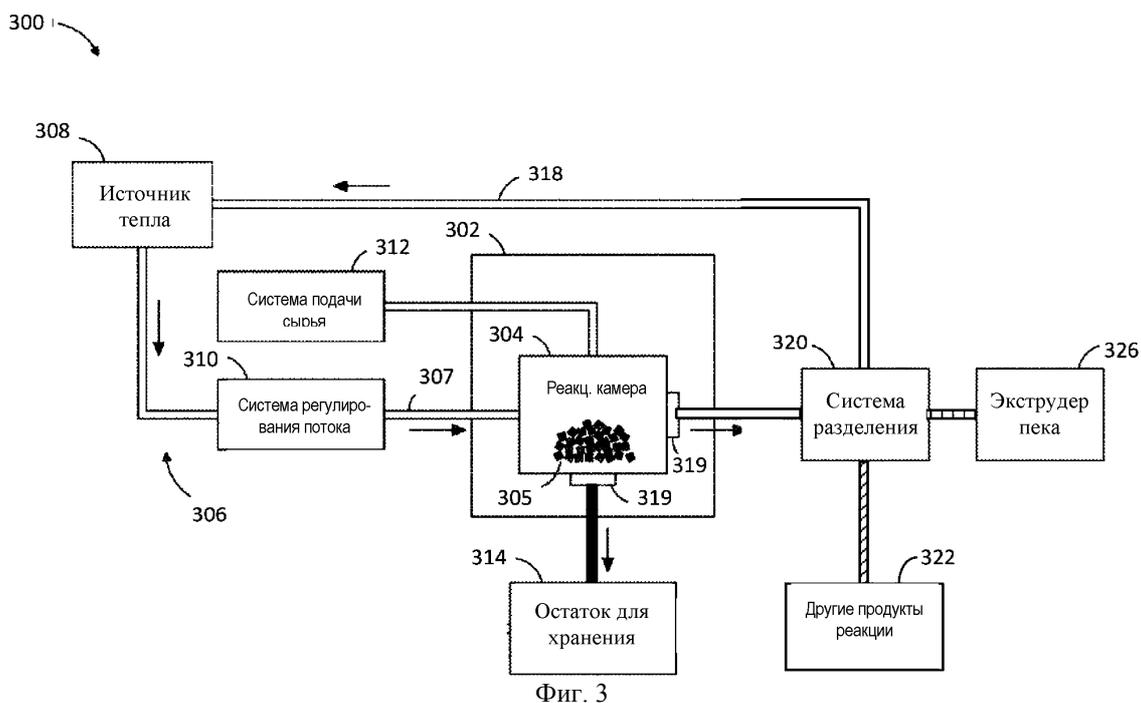
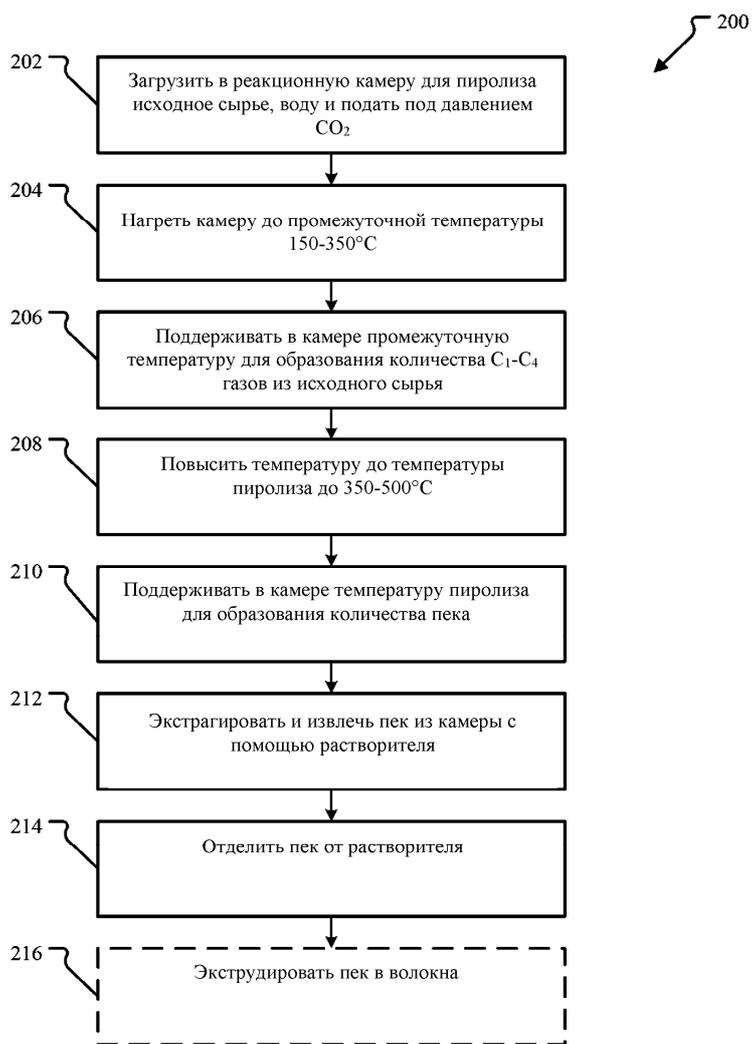
15. Система по п.14, дополнительно содержащая систему обхода, которая дополнительно включает множество перепускных клапанов для возвратного потока, которая распределяет поток возвратного потока CO_2 в одну или более стадий рекуператоров/накопителей и в которой регулятор регулирует множество перепускных клапанов для возвратного потока, регулируя при этом поток возвратного потока CO_2 в одну или более стадий рекуператоров/накопителей.

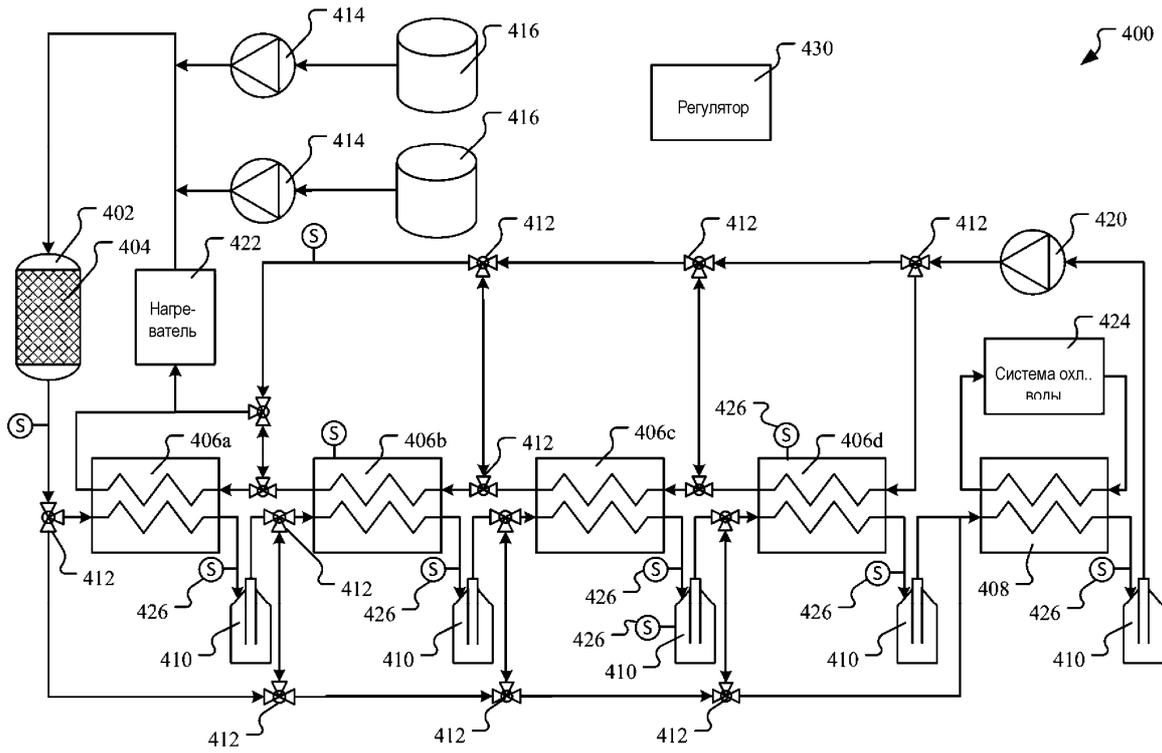
16. Система по п.15, в которой регулятор выполнен с возможностью регулирования с помощью системы обхода потока технологического потока CO_2 и возвратного потока CO_2 через стадии рекуператоров/накопителей для получения желаемой фракции конденсата, собранной с помощью по меньшей мере одной из стадий рекуператора/накопителя.

17. Система по п.16, дополнительно содержащая один или более датчиков температуры, контролирующих температуру в одном или более местах в контуре рекуперации и конденсации, в которой регулятор выполнен с возможностью регулирования с помощью системы обхода потока технологического потока CO_2 и возвратного потока CO_2 через стадии рекуператоров/накопителей на основании информации, получаемой от указанных одного или более датчиков температуры.



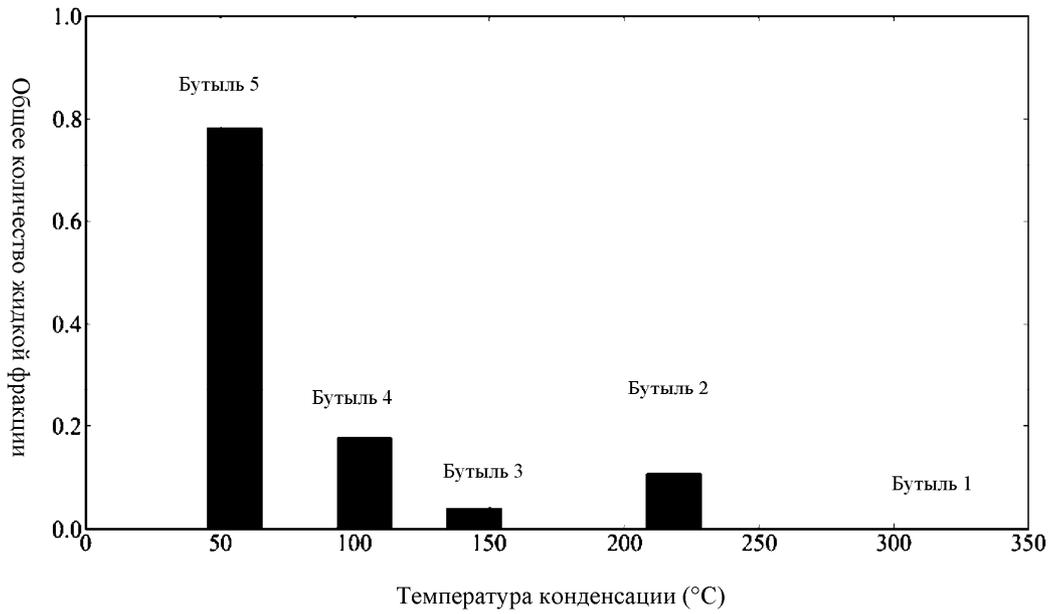
Фиг. 1





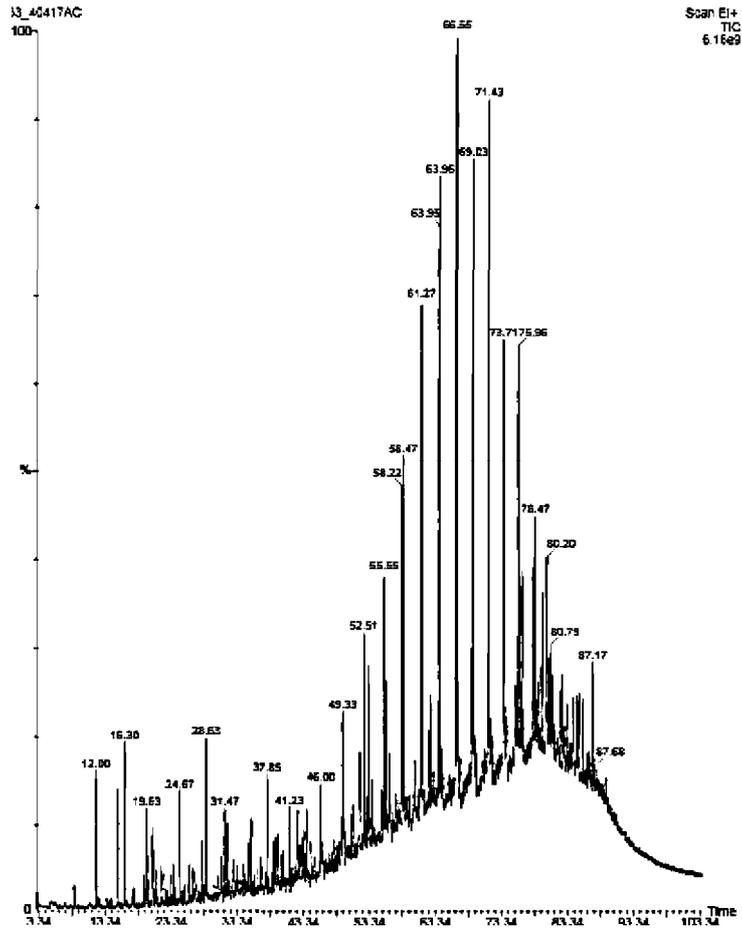
Фиг. 4

Выход жидкости в зависимости от температуры

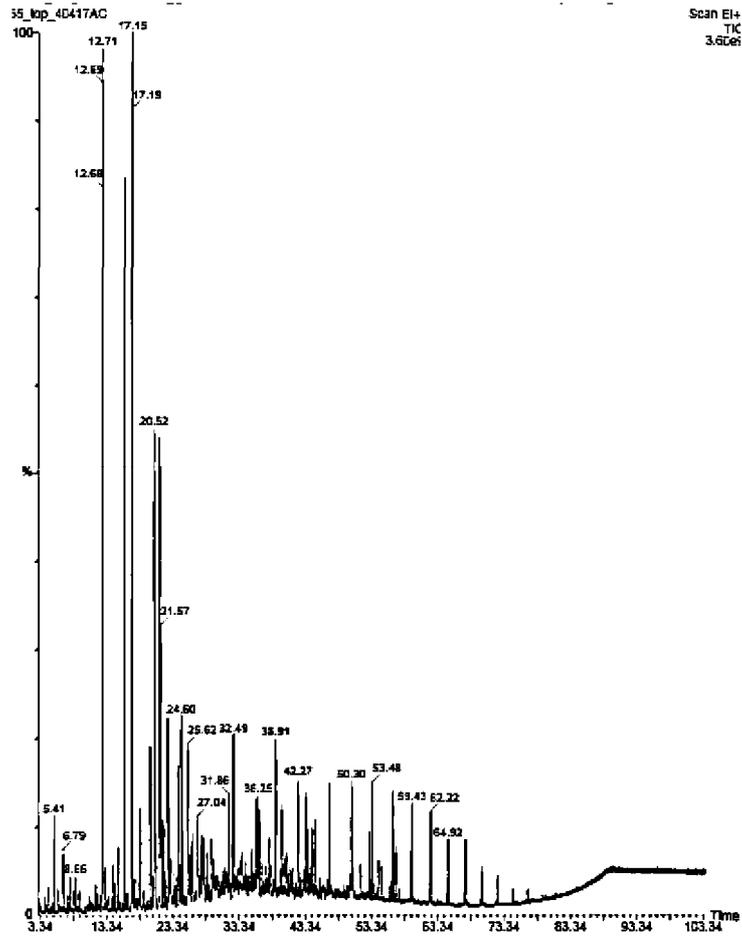


Фиг. 5А

040776



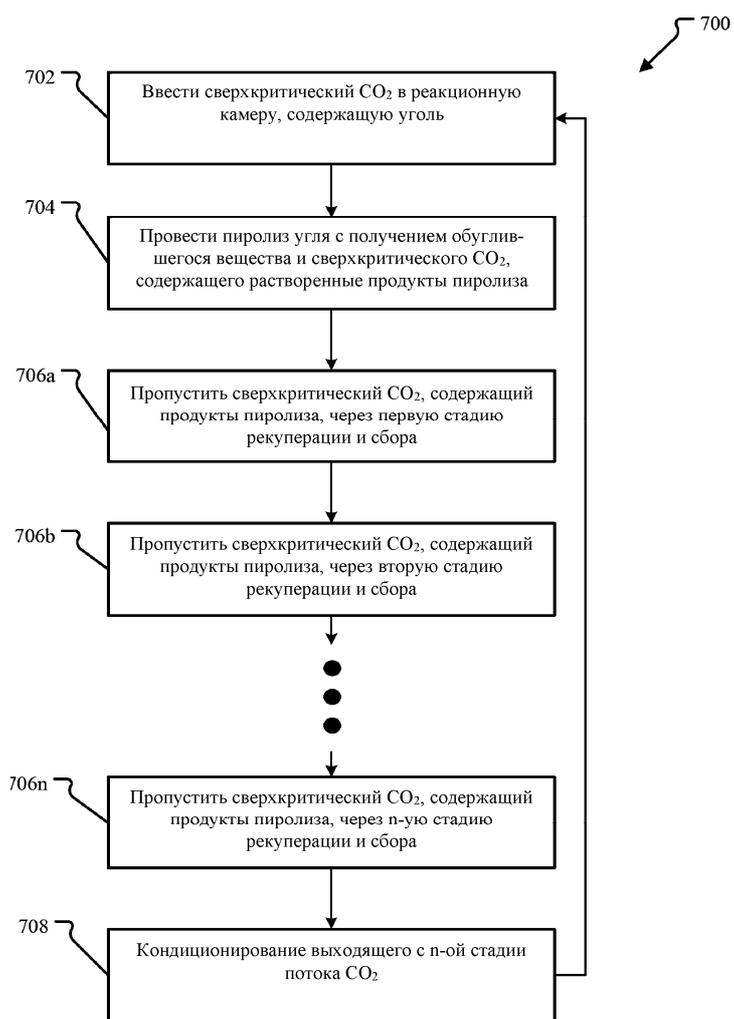
Фиг. 5В



Фиг. 5С



Фиг. 6



Фиг. 7

