

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(21) **201992009** (13) **A1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2020.02.06

(51) Int. Cl. *G01V 3/14* (2006.01)
G01N 24/08 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2018.02.06

(54) СПОСОБ И СИСТЕМА ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТ С УГЛЕВОДОРОДАМИ

(31) 62/469,886; 62/469,876

(32) 2017.03.10

(33) US

(86) PCT/US2018/017065

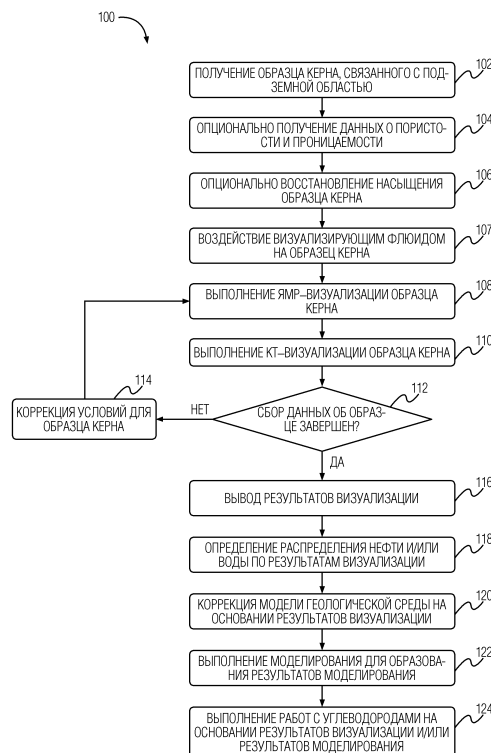
(87) WO 2018/164796 2018.09.13

(71) Заявитель:
ЭКСОНМОБИЛ АПСТРИМ РИСЕРЧ
КОМПАНИ (US)

(72) Изобретатель:
Буоно Антонио С., Фуллмер Шон,
Кинг Хьюберт Е., мл., Сансон Майкл,
Кортунов Павел, Дансмьюир Джон Х.,
Гао Бо, Кралик Джеймс Дж., Сюй Е.
(US)

(74) Представитель:
Медведев В.Н. (RU)

(57) Описаны способ и система для визуализации образца керна, связанного с подземной областью. Результаты визуализации могут быть использованы для построения или обновления модели геологической среды, а модель геологической среды и/или результаты визуализации могут быть использованы при работах с углеводородами. Способы визуализации могут включать в себя ядерную магнитно-резонансную визуализацию и компьютерную томографическую визуализацию. Кроме того, способы визуализации могут включать в себя воздействие визуализирующим флюидом на образец керна.



201992009

A1

A1

201992009

СПОСОБ И СИСТЕМА ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ РАБОТ С УГЛЕВОДОРОДАМИ**ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ**

[001] По этой заявке испрашивается преимущество приоритетов предварительной заявки № 62/469876 на патент США под названием "Method and system for enhancing hydrocarbon operations", поданной 10 марта 2017 года, и предварительной заявки № 62/469886 на патент США под названием "Method and system for enhancing hydrocarbon operations", поданной 10 марта 2017 года, раскрытия которых включены в эту заявку путем ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

[002] В общем, это раскрытие относится к области разведки углеводородов, разработки месторождения углеводородов и добычи углеводородов. В частности, раскрытие относится к способу оценивания образца керна с помощью процессов визуализации и использования результатов визуализации для улучшения моделей геологической среды и усовершенствования работ с углеводородами.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[003] Этот раздел предназначен для ознакомления с различными аспектами из области техники, которые могут быть связаны с примерами вариантов осуществления настоящего раскрытия. Можно полагать, что это рассмотрение поможет получить представление об основных положениях для содействия лучшему пониманию конкретных аспектов настоящего изобретения. В соответствии с этим следует понимать, что этот раздел должен толковаться в этом свете, а необязательно как приобщение к предшествующему уровню техники.

[004] На этапах разведки, разработки месторождения и/или добычи углеводородов данные различных видов регистрируют и используют для построения моделей геологической среды. Модели геологической среды можно использовать для представления подземных структур, которое может включать в себя описание подземных структур и свойств материалов в подземной области. Например, модель геологической среды может быть геологической моделью, геомеханической моделью или моделью коллектора. Измеренные или интерпретированные данные для подземной области можно использовать при построении модели геологической среды и/или уточнения модели геологической среды. Например, в геологической модели могут быть представлены измеренные или

интерпретированные данные для подземной области, такие как сейсмические данные и скважинные каротажные данные, и могут иметься свойства материалов, таких как породы. Согласно другому примеру модель коллектора можно использовать для имитации движения флюидов в подземной области. В соответствии с этим модели геологической среды могут иметь различные масштабы для уменьшения количества вычислений при моделировании или имитации геологической среды в рамках модели.

[005] Разработка моделей геологической среды может быть проблематичной. Например, данные измерений могут включать в себя неопределенность, относящуюся к конкретным свойствам и/или структурам, связанным с подземной областью. В частности, сейсмическими данными обеспечивается информация с более грубой степенью детализации, чем скважинными каротажными диаграммами и/или образцами кернa. Соответственно этому сейсмические данные можно использовать для приблизительного определения местоположений и/или свойств, а любая соответствующая модель геологической среды может быть основана на предположениях (например, на неопределенности).

[006] Для уменьшения неопределенности в модели геологической среды можно использовать скважинные каротажные диаграммы, чтобы получать дополнительные данные для подземной области. Кроме того, можно получать образцы кернa или цилиндрические образцы кернa для анализа. В частности, анализ может включать в себя определение подробных данных о потоке для отдельных цилиндрических образцов кернa, которое может включать в себя получение измерений на цилиндрических образцах кернa. К сожалению, анализ может быть требующим большого времени и дорогим. Кроме того, измеренные данные может быть трудно соотносить с описанием подстилающей породы, как это предусматривается в геологии, когда особое внимание обращается на поровую структуру соответствующей породы и ее текстуру или строение. Хотя породы с общими геологическими характеристиками можно группировать в соответствии с фациями, может быть предпочтительно связывать фации с характеристиками потока.

[007] В соответствии с изложенным в отрасли сохраняется необходимость в способах и системах, которые являются более эффективными и могут создавать меньше проблем, связанных с моделированием геологической среды, которые предназначены для использования при выполнении работ с углеводородами. Кроме того,

сохраняется необходимость в усовершенствованном способе получения, обработки и оценивания данных, посредством которых размер, форма и местоположение пор могут быть непосредственно связаны с характеристиками потока, благодаря чему уменьшится неопределенность в моделях геологической среды и способах, которые могут быть эффективно использованы при добыче углеводородов. Кроме того, существует необходимость в лучшем понимании наличия, распределения, характеристик и свойств геологической среды. Предложенными техническими решениями, посредством которых могут быть связаны описание геологии и характеристики потока, обеспечиваются способ и устройство без одного или нескольких недостатков, рассмотренных выше.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[008] Согласно одному варианту осуществления описан способ образования и использования результатов визуализации. Способ содержит получение образца керна, связанного с подземной областью, воздействие на образец визуализирующим флюидом, получение результатов визуализации путем выполнения способа визуализации образца, при этом визуализирующий флюид присутствует в образце керна во время выполнения способов визуализации, и вывод результатов визуализации.

[009] Согласно другому варианту осуществления описана система визуализации. Система визуализации содержит блок образца керна, блок визуализирующего флюида и монитор. Блок образца керна содержит корпус и множество клапанов, при этом корпус образует внутреннюю область, выполненную с возможностью удержания образца керна, и изолирует внутреннюю область от внешних условий, и при этом множество клапанов выполнены с возможностью обеспечения путей потока флюида между внутренней областью и внешними местами по отношению к внутренней области. Блок визуализирующего флюида находится в сообщении по текучей среде с блоком образца керна и выполнен с возможностью воздействия на образец керна визуализирующим флюидом. Система визуализации выполнена с возможностью образования результатов визуализации образца керна в блоке образца керна и сохранения результатов визуализации в запоминающем устройстве. Монитор выполнен с возможностью отображения результатов визуализации.

[010] Согласно еще одному варианту осуществления описана система для образования результатов визуализации образца керна, связанного с подземной областью. Система содержит процессор,

устройство ввода в соединении с процессором и выполненное с возможностью приема входных данных, связанных с подземной областью, запоминающее устройство в соединении с процессором, при этом запоминающее устройство имеет набор инструкций. Набор инструкций выполнен с возможностью обеспечения, при исполнении процессором, изолирования образца керна, связанного с подземной областью, в системе визуализации, воздействия на образец керна визуализирующим флюидом, получения результатов визуализации путем выполнения способа визуализации образца керна, при этом визуализирующий флюид присутствует в образце керна во время выполнения способов визуализации, и вывода результатов визуализации.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[011] Преимущества настоящего изобретения можно лучше понять при обращении к нижеследующему подробному описанию и сопровождающим чертежам, на которых:

[012] фиг. 1 – пример блок-схемы последовательности действий, включающих визуализацию образцов керна и использование результатов визуализации, согласно варианту осуществления предложенных технических решений;

[013] фиг. 2 – пример блок-схемы последовательности действий, включающих визуализацию образцов керна с визуализирующим флюидом, согласно варианту осуществления предложенных технических решений;

[014] фиг. 3 – пример блок-схемы последовательности действий, включающих многократное выполнение способов визуализации, согласно варианту осуществления предложенных технических решений;

[015] фиг. 4 – пример структурной схемы системы визуализации образца керна согласно варианту осуществления предложенных технических решений;

[016] фиг. 5 – пример структурной схемы системы КТ-визуализации;

[017] фиг. 6 – пример структурной схемы системы ЯМР-визуализации;

[018] фиг. 7A–7D – типичные изображения, иллюстрирующие примеры анализа данных КТ-визуализации;

[019] фиг. 8A–8D – типичные изображения, иллюстрирующие примеры анализа данных КТ-визуализации;

[020] фиг. 9A–9D – типичные изображения и диаграммы,

иллюстрирующие примеры анализа данных ЯМР-визуализации;

[021] фиг. 10А-10С – типичные изображение и диаграммы, иллюстрирующие примеры анализа данных ЯМР-визуализации; и

[022] фиг. 11 – структурная схема компьютерной системы, которая может быть использована при выполнении любого из способов, раскрытых в этой заявке.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

[023] В нижеследующем разделе подробного описания рассматриваются отдельные варианты осуществления настоящего раскрытия, связанные с предпочтительными вариантами осуществления. Однако в той степени, в которой нижеследующее описание является специфическим для конкретного варианта осуществления или конкретного применения настоящего раскрытия, оно предполагается приводимым только для примера и представляет собой просто описание примеров вариантов осуществления. В соответствии с этим раскрытие не ограничено отдельными вариантами осуществления, описанными ниже, а точнее, оно включает в себя все варианты, модификации и эквиваленты, попадающие в пределы истинной сущности и в объем прилагаемой формулы изобретения.

[024] Различные термины, используемые в этой заявке, определены ниже. В тех случаях, когда термин, использованный в формуле изобретения, не определен ниже, специалист в данной области техники должен давать ему самое широкое определение, имея в виду то, что термин отражен в по меньшей мере одной печатной публикации или опубликованном патенте.

[025] Неопределенные артикли необязательно означают ограничение только одним элементом, а точнее, являются включающими и открытыми для включения, при необходимости, таких многочисленных элементов.

[026] Термином «углеводороды», используемым в этой заявке, в общем случае обозначаются молекулы, образованные прежде всего атомами углерода и водорода. Кроме того, углеводороды могут включать в себя другие элементы или соединения, такие как, но без ограничения ими, галогены, металлические элементы, азот, кислород, сера, сероводород (H_2S) и диоксид водорода (CO_2). Предпочтительные углеводороды можно добывать из углеводородных коллекторов через скважины, проникающие в содержащий углеводород пласт. Углеводороды, извлекаемые из углеводородного коллектора, могут включать в себя, но без ограничения ими, нефти, природный

газ, нефтепродукт, кероген, битум, пиробитум, асфальтены, смолы или сочетание из них. Углеводороды могут располагаться в минеральных матрицах в геологической среде, называемых коллекторами, или вблизи них. Матрицы могут включать в себя, но без ограничения ими, осадочную породу, пески, силицилиты, карбонаты, диатомиты и другие пористые среды.

[027] Термин «разведка углеводородов», используемый в этой заявке, обозначает любую деятельность, связанную с определением местоположения углеводородов в подземных областях. Под разведкой углеводородов обычно имеется в виду любая деятельность, проводимая для получения результатов измерений путем регистрации измеряемых данных, связанных с подземным пластом, и соответствующего моделирования данных для идентификации возможных мест расположения залежей углеводородов. Соответственно, разведка углеводородов включает в себя регистрацию данных измерений, моделирование данных измерений для построения моделей геологической среды и определение вероятных мест расположения углеводородных коллекторов в геологической среде. Данные измерений могут включать в себя сейсмические данные, гравиметрические данные, магнитные данные, электромагнитные данные и т.п.

[028] Термин «разработка месторождения углеводородов», используемый в этой заявке, обозначает любую деятельность, связанную с планированием добычи углеводородов из подземных областей и/или получением доступа к углеводородам. Под разработкой месторождения углеводородов обычно имеется в виду любая деятельность, проводимая для планирования доступа к углеводородам из подземного пласта и/или для добычи углеводородов и соответствующего моделирования данных для идентификации предпочтительных методик и способов разработки месторождения. Например, разработка месторождения углеводородов может включать в себя моделирование подземного пласта, планирование извлечения в течение периодов добычи, определение и подготовку оборудования, подлежащего использованию, и разработку технологий, подлежащих использованию при извлечении углеводородов из подземного пласта, и т.п.

[029] Термин «работа (работы) с углеводородами», используемый в этой заявке, обозначают любую деятельность, связанную с разведкой углеводородов, разработкой месторождения углеводородов и/или добычей углеводородов.

[030] Термин «добыча углеводородов», используемый в этой заявке, обозначает любую деятельность, связанную с извлечением углеводородов из подземного места размещения, такого как скважина или другое вскрытие месторождения. Под добычей углеводородов обычно имеется в виду любая деятельность, осуществляемая для образования ствола скважины, наряду с любой деятельностью в скважине или относительно нее после заканчивания скважины. В соответствии с этим добыча или извлечение углеводородов включает в себя не только первичное извлечение углеводородов, но также способы вторичной и третичной добычи, такие как нагнетание газа или жидкости для повышения давления вытеснения; повышение подвижности углеводородов или обработку, например, химикатами; гидравлический разрыв ствола скважины для стимулирования повышенной текучести; ремонт скважины; каротаж скважины и другие обработки скважины и ствола скважины.

[031] Термин «модель геологической среды», используемый в этой заявке, обозначает модель коллектора, геомеханическую модель, модель водонепроницаемости и/или геологическую модель. Модель геологической среды может включать в себя данные о геологическом разрезе, распределенные в модели по двум измерениям (например, распределенные по множеству ячеек, таких как элементы или блоки), по трем измерениям (например, распределенные по множеству вокселей) или по трем или большему количеству измерений.

[032] Термином «геологическая модель», используемым в этой заявке, представлена модель подземной области, имеющая статические свойства. Геологическая модель может включать в себя объекты, такие как сбросы и/или горизонты, и свойства, такие как фации, литология, пористость, проницаемость и/или относительное содержание песка и сланца. Геологическая модель может быть двумерной или трехмерной моделью, но предпочтительно, чтобы она представляла собой трехмерную модель.

[033] Термином «модель коллектора», используемым в этой заявке, представлена модель подземной области, имеющая динамические свойства, которые изменяются на протяжении шкалы времени извлечения запасов углеводородов. Например, модель коллектора может быть моделью состава, давления и/или относительной проницаемости флюида на протяжении шкалы времени извлечения углеводородов. Эти динамические свойства можно моделировать в дополнение к статическим свойствам, таким как

пористость и проницаемость. Модель коллектора может быть двумерной или трехмерной моделью, но предпочтительно, чтобы она была трехмерной моделью.

[034] Термином «сетка» или «решетка», используемым в этой заявке, представлена область пространства (например, двумерная область или трехмерная область), которая может включать в себя объекты и которая включает в себя два или большее количество узлов и набор многоугольников или многогранников, расположенных в области (например, при объемном представлении). На сетке каждый объект может представляться набором многоугольников или многогранников, расположенных в области. Свойства могут быть приданы некоторым или всем многоугольникам. Сетка может включать в себя узлы, крошки, поверхности, а в некоторых случаях ячейки или элементы сетки.

[035] Термином «имитация» или «моделирование», используемым в этой заявке, представлен процесс выполнения одной или нескольких операций с использованием модели геологической среды и любых соответствующих свойств для получения результатов моделирования. Например, моделирование может включать в себя вычисление основанного на модели коллектора прогноза, относящегося к извлечению запасов углеводородов. Моделирование коллектора может включать в себя выполнение процессором компьютерной программы моделирования коллектора, в результате чего вычисляются состав, давление и/или перемещение флюида в зависимости от времени и пространства для точно определенной ситуации в нагнетательных и продуктивных скважинах путем решения системы уравнений для протекания пластового флюида. Геомеханическое моделирование может включать в себя выполнение процессором компьютерной программы геомеханического моделирования, в результате чего вычисляются смещение, деформация, напряжение, сдвиговое скольжение и/или высвобождение энергии из породы в зависимости от времени и пространства в соответствии с граничными условиями, такими как смещения или переносы, теплота или давления флюидов применительно к геомеханической модели с точно определенными начальными условиями.

[036] Термин «геологическая среда», используемый в этой заявке, означает расположенную ниже верхней поверхности любую массу грунта на любой высоте или на протяжении диапазона высот, независимо от того, где она находится, выше, ниже уровня моря

или на уровне моря, и/или расположенную ниже поверхности подошвы любой массы воды, независимо от того, где она находится, выше, ниже уровня моря или на уровне моря.

[037] Термин «ядерная магнитно-резонансная визуализация», используемый в этой заявке, относится к способу, которым получают результаты визуализации образца керна на основании способов ядерного магнитного резонанса. Ядерная магнитно-резонансная (ЯМР) визуализация представляет собой способ, который включает в себя использование магнитных спинов, связанных с определенными атомами (например, протонами в углеводородных флюидах), позволяющий получать информацию, которая является специфической для флюидов, для обнаружения газов, жидкости, тяжелых углеводородов и других флюидов, таких как соляной раствор, и газов, таких как CO_2 . Применение способов ядерного магнитного резонанса известно специалистам в данной области техники. В этих способах можно использовать магнит для создания слабого поля, снабженный градиентными катушками, магнит для создания среднего поля, снабженный градиентными катушками, магнит для создания сильного поля, снабженный градиентными катушками, или любое сочетание из них. Способы ядерного магнитного резонанса могут обеспечивать получение измерений четырех различных видов. Измерения могут включать в себя (i) определение содержания нефти и/или воды в образце керна при использовании протонной спектроскопии (при которой такое измерение может обеспечивать получение показателя общей пористости), (ii) определение содержания нефти и/или воды для каждого размера пор при использовании T_2 - или T_1 -релаксометрии, (iii) одномерную (1М), двумерную (2М) и/или трехмерную (3М) магнитно-резонансную визуализацию (МР-визуализацию) концентрации нефти и/или воды на всем протяжении длины образца керна, на срезе образца или на вокселе образца и (iv) определение динамики флюидов, таких как соляной раствор и углеводороды, в состоянии равновесия (самопроизвольной диффузии) или под действием индуцированного потока при ядерной магнитно-резонансной диффузометрии с градиентом пульсирующего поля (ГПП), при этом путем последних измерений определяют относительные количества подвижных и неподвижных флюидов. Кроме того, спектрометры ядерного магнитного резонанса в слабом поле (например, с магнитом для создания слабого поля, снабженным градиентными катушками) обеспечивают обнаружение и визуализацию образцов,

содержащих углерод и азот.

[038] Термин «компьютерная томографическая визуализация», используемый в этой заявке, относится к способу, которым получают результаты визуализации образца при использовании способов компьютерной томографической визуализации. Компьютерная томографическая (КТ) визуализация основана на вариации затухания рентгеновского излучения в компонентах. Хотя КТ-визуализацию можно использовать в качестве инструментального средства при исследованиях, небольшие поры могут давать неоднозначные результаты. Кроме того, может оказаться невозможным проведение различия между заполненными нефтью порами и заполненными водой порами. В предложенных в заявке технических решениях используется маркировка порового пространства непосредственно на месте путем использования сильно ослабляющего рентгеновское излучение флюида, такого как визуализирующий флюид (например, визуализирующий газ). При выборе визуализирующего флюида, преимущественно растворимого в нефти, такого как газообразный ксенон и/или газообразный криптон, полученные с помощью компьютерной томографии изображения позволяют выявлять заполненные нефтью поры и/или заполненные водой поры. Путем сравнения изображений, полученных с помощью рентгеновской томографии при использовании визуализирующего газа, такого как газообразный ксенон и/или газообразный криптон, и без использования его, можно получать полное описание характеристик поровой структуры, которое может включать в себя количество, размеры и местоположение заполненных нефтью пор, заполненных газом пор и/или заполненных водой пор на всем протяжении образца керна. На основании этого описания характеристик можно выполнить визуализацию движения флюидов в пласте и соотнести движение с видом флюида и поровой структурой. Описание характеристик и/или движение флюидов в пласте можно с меньшей неопределенностью использовать в моделях геологической среды, относящихся к подземной области.

[039] При выполнении работ с углеводородами данные измерений могут быть получены и оценены для понимания или улучшения понимания подземных областей и/или для повышения добычи углеводородов. Например, данные измерений могут быть использованы при построении модели геологической среды или для обновления существующей модели геофизической среды. Модель геологической среды является компьютеризированным представлением

подземной области, основанным на геофизических и геологических наблюдениях, выполненных на и ниже поверхности Земли. Модель геологической среды может быть числовым эквивалентом трехмерной геологической карты, дополненной описанием физических величин в моделируемой области, которое может включать в себя описание образцов керна и другие измеренные данные. Модель геологической среды может включать в себя сетку или решетку узлов для разделения области модели геологической среды на элементы или ячейки сетки, которые могут включать в себя блоки в двух измерениях, воксели в трех измерениях или другие подходящие элементы сетки в других измерениях. Ячейка, такая как блок, элемент сетки или воксел является частичным объемом пространства, который может быть образован из узлов в сетке. В модели геологической среды свойства материалов, такие как свойства породы (например, проницаемость и/или пористость), могут быть представлены в виде непрерывных объемов или ненарушенных сбросами объемов в расчетном пространстве, тогда как физическое пространство может быть представлено в виде разрывных объемов или нарушенных сбросами объемов (например, в виде объемов, содержащих разрывы, такие как постседиментационные разрывы).

[040] Однако построение модели геологической среды является трудной задачей вследствие неопределенности, связанной с распределением свойств на протяжении всего пространства модели геологической среды. Например, сейсмические данные можно использовать вместе со скважинными каротажными данными для получения некоторого начального диапазона значений, связанных с подземной областью. Однако больше информации может потребоваться для эффективного насыщения модели геологической среды свойствами, которые могут обеспечить связь между точными лабораторными определениями свойств (например, между общей пористостью, измеренной гелиевой порозиметрией) и геологией. В соответствии с этим предложенными техническими решениями может обеспечиваться связь между геологией, поровой структурой и характеристиками потока, которые также могут обеспечивать меньшую неопределенность в процессе моделирования геологической среды.

[041] Предложенные технические решения можно использовать для получения меньшей неопределенности при моделировании геологической среды и работах с углеводородами. Предложенные

технические решения включают в себя способ оценивания образца керна путем выполнения ЯМР-визуализации, выполнения КТ-визуализации, воздействия визуализирующим флюидом на образец керна и/или воздействия заводняющим флюидом на образец керна. Предложенные технические решения можно использовать отдельно или объединять для дальнейшего улучшения обработки образца керна и получения механизма для определения и оценки количества пор в образце керна, распределения пор в образце керна и/или содержания пор в образце керна на основании результатов визуализации, и тем самым можно получать меньшую неопределенность модели геологической среды. Например, с помощью таких определений можно выявлять свойства, которые связаны с движением углеводородов и экономическим потенциалом пород коллектора, и их также можно использовать для повышения добычи углеводородов.

[042] Согласно некоторым конфигурациям в предложенных технических решениях могут использоваться различные способы визуализации для улучшения результатов визуализации, используемых в моделях геологической среды и/или при работах с углеводородами. Например, предложенные технические решения могут включать в себя выполнение двух или большего количества способов визуализации для регистрации или получения результатов визуализации образца керна. Способы визуализации могут включать в себя (i) ядерную магнитно-резонансную (ЯМР) визуализацию, (ii) рентгеновскую томографическую визуализацию (например, КТ-визуализацию) или (iii), например, любое сочетание из них.

[043] В предложенных технических решениях согласно другим вариантам осуществления можно использовать один или несколько способов визуализации, отдельно и/или в сочетании, вместе с визуализирующим флюидом и/или заводняющим флюидом. Визуализирующий флюид может включать в себя газообразный ксенон (Xe) и/или газообразный криптон (Kr). Например, визуализирующий флюид может содержать 20 об.% или более газообразного ксенона относительно общего объема визуализирующего флюида, 50 об.% или более газообразного ксенона относительно общего объема визуализирующего флюида, 70 об.% или более газообразного ксенона относительно общего объема визуализирующего флюида, 80 об.% или более газообразного ксенона относительно общего объема визуализирующего флюида или 90 об.% или более газообразного ксенона относительно общего объема визуализирующего флюида.

Согласно другим примерам визуализирующий флюид содержит 20 об.% или более газообразного криптона относительно общего объема визуализирующего флюида, 50 об.% или более газообразного криптона относительно общего объема визуализирующего флюида, 70 об.% или более газообразного криптона относительно общего объема визуализирующего флюида, 80 об.% или более газообразного криптона относительно общего объема визуализирующего флюида или 90 об.% или более газообразного криптона относительно общего объема визуализирующего флюида.

[044] Согласно еще одному примеру в предложенных технических решениях можно использовать один или несколько способов, отдельно и/или в сочетании, вместе с заводняющим флюидом. Заводняющий флюид может включать в себя воду (H_2O), оксид дейтерия (D_2O), буровой раствор, диоксид углерода (CO_2), азот (N_2), аммиак, метан, этан, соленую воду или любой другой представляющий интерес флюид. Например, заводняющий флюид может быть водой или может быть повышающим извлечение углеводородов флюидом, который используют при работах по добыче для нагнетания в подземные области. К заводняющему флюиду может добавляться присадка, которая обладает избирательной способностью по отношению к углеводородам, таким образом, чтобы отношение количества заводняющего флюида к присадке было больше чем 1,1, больше чем 2, больше чем 4 или больше чем 5. Согласно некоторым конфигурациям, процесс КТ-визуализации образца керна может быть выполнен многократно для определения заводняющего флюида, который обеспечивает требуемое извлечение из подземной области. Например, процесс может включать в себя вторую КТ-визуализацию, которая может выполняться относительно образца керна в дополнение к первой КТ-визуализации; воздействие вторым заводняющим флюидом на образец керна одновременно с выполнением второй КТ-визуализации образца керна; и сравнение результатов визуализации при заводняющем флюиде и втором заводняющем флюиде для определения более эффективного повышающего извлечение углеводородов флюида.

[045] Ядерная магнитно-резонансная (ЯМР) визуализация может быть одним из способов визуализации, используемых в предложенных технических решениях. ЯМР-визуализация может включать в себя использование соединений водорода (например, воды (H_2O), углеводородов (C_xH_x) из флюидов, которые заполняют поры образца). Хотя промышленные стандартные способы ядерного магнитного

резонанса в слабом поле могут обеспечивать определение пористости и размера пор, непосредственная количественная оценка содержания воды и/или нефти может быть проблематичной. В соответствии с этим предложенные технические решения могут включать в себя использование спектрометра ядерного магнитного резонанса в сильном поле, снабженного градиентными катушками, выполненного с возможностью получения измерений четырех видов, к которым относятся (i) определение содержания нефти и/или воды в образце при использовании протонной спектроскопии (например, общей пористости), (ii) определение содержания нефти и/или воды для каждого размера пор при использовании T_2 - или T_1 -релаксометрии, (iii) выполнение одномерной МР-визуализации, двумерной МР-визуализации и трехмерной МР-визуализации концентрации нефти и/или воды на всем протяжении длины образца, на срезе образца или в вокселе образца и (iv) определение динамики соляного раствора и углеводородов в состоянии равновесия (самопроизвольной диффузии) или под действием индуцированного потока при ядерной магнитно-резонансной диффузометрии с градиентом пульсирующего поля (ГПП). При последних измерениях определяют относительные количества подвижных и неподвижных флюидов. Кроме того, спектрометры ядерного магнитного резонанса в сильном поле обеспечивают обнаружение и визуализацию образцов, содержащих углерод и азот.

[046] Согласно некоторым конфигурациям результаты ЯМР-визуализации могут быть получены при приложении давления к образцу. Например, данные ЯМР-визуализации можно регистрировать или собирать при приложении градиента давления для возбуждения потока. Это прикладываемое давление можно использовать для получения информации, связанной с оценкой перемещения флюида на месте залегания, которая может включать в себя различие между подвижностью нефти и воды. При учете такого потока количественный показатель содержания нефти и/или воды может служить механизмом для оценивания возможности извлечения нефти из образца, которым может быть порода коллектора в подземной области.

[047] Рентгеновская томографическая визуализация может быть еще одним способом визуализации, используемым в предложенных технических решениях. Рентгеновскую томографическую визуализацию, которую можно отнести к компьютерной томографической (КТ) визуализации, можно использовать в качестве

инструментального средства для определения как двумерной, так и трехмерной структуры материалов, в том числе пористых сред. Измерение пористости, размера пор и/или местоположения пор может быть выполнено рядом способов. Однако такие измерения могут быть проблематичными, когда поры меньше, чем разрешающая способность способа визуализации.

[048] Поскольку проведение различий между заполненными нефтью порами и заполненными водой порами может быть трудной задачей при использовании способов визуализации, в предложенных технических решениях можно использовать поток визуализирующего газа для повышения качества анализа образца керна. Например, в предложенных технических решениях можно использовать маркировку пространства соединенных пор в образце путем использования потока визуализирующего газа (например, газообразного ксенона и/или газообразного криптона) и его свойств, связанных с поглощением рентгеновского излучения. Поскольку предпочтительно, чтобы визуализирующий флюид был в газообразном состоянии, рабочие условия могут определяться конкретным визуализирующим флюидом (который может полностью заполнять поровое пространство) и заданными условиями давления и температуры. Рабочие условия можно корректировать с учетом состава визуализирующего флюида.

[049] Кроме того, выбором визуализирующего флюида, такого как визуализирующий газ, можно улучшать способы визуализации. Например, визуализирующий флюид может быть выбран с учетом взаимодействия с нефтью и/или другими конкретными пластовыми флюидами (например, водой) для проведения различия между разными флюидами. Например, визуализирующий флюид может быть визуализирующим газом, который взаимодействует с нефтью, но с меньшей вероятностью взаимодействует с водой (например, коэффициент разделения может быть таким, что визуализирующий газ предпочтительно взаимодействует с нефтью и углеводородами, а не с водой). Например, визуализирующий газ может быть газообразным ксеноном или газообразным криптоном. Поскольку визуализирующий флюид проходит предпочтительно в углеводороды (например, в нефтяную фазу), но не в другие флюиды, такие как вода, визуализирующий флюид можно использовать для содействия маркировке пор. В качестве первого способа маркировки визуализирующий флюид может избирательно выделять заполненные нефтью поры. В дополнение к этому второй способ маркировки можно выполнять для пустых пор, которые можно заполнять

визуализирующим флюидом. Поскольку заполненные водой поры не включают в себя заметного количества визуализирующего флюида (например, газообразного ксенона и/или газообразного криптона), третий способ маркировки может включать в себя идентификацию этих заполненных водой пор. Следовательно, путем сравнения результатов визуализации (например, изображений, образованных с помощью рентгеновской томографии), полученных при нагнетании визуализирующего газа и без нагнетания, определяют характеристику поровой структуры, определяют количество, размер и местоположение заполненных нефтью, заполненных газом и заполненных водой пор на всем протяжении образца.

[050] Как можно понять, коэффициент разделения представляет собой отношение концентраций соединений в смеси двух несмешивающихся фаз, находящихся в равновесии. Для приведенного выше примера коэффициент разделения визуализирующего газа может быть специфичным для нефти по сравнению с водой. Коэффициент разделения может быть около 10:1 или может находиться в пределах от 8:1 до 12:1. Однако в других конфигурациях коэффициент разделения может быть около 20:1 или может находиться в пределах от 18:1 до 22:1.

[051] При выполнении способов визуализации образца керна рабочие условия могут включать в себя различные конфигурации. В одной конфигурации рабочие условия могут быть аналогичны скважинным условиям, которые могут включать в себя аналогичные температуры и/или давления наряду с аналогичными параметрами потока (например, поток является ламинарным). Например, скважинные условия могут включать в себя давления в пределах от 10 фунт-сила/дюйм² (68,95 кПа) до 4000 фунт-сила/дюйм² (27,58 МПа), в пределах от 10 фунт-сила/дюйм² до 2000 фунт-сила/дюйм² (13,78 МПа) или в пределах от 10 фунт-сила/дюйм² до 1000 фунт-сила/дюйм² (6,89 МПа). Кроме того, скважинные условия могут включать в себя температуры в пределах от 60 °F (15,6 °C) до 800 °F (426,7 °C), в пределах от 60 °F до 600 °F (315,6 °C) или в пределах от 60 °F до 500 °F (260,0 °C).

[052] Согласно другой конфигурации рабочие условия могут включать в себя лабораторные условия, которые могут включать в себя температуры, давления и/или режимы потоков, которые отличаются от имеющихся при скважинных условиях, но могут устанавливаться для надлежащего определения соответствующих свойств и/или распределения пор. Например, лабораторные условия

могут включать в себя давления в пределах от 10 фунт-сила/дюйм² (68,95 кПа) до 500 фунт-сила/дюйм² (3,45 МПа), в пределах от 10 фунт-сила/дюйм² до 250 фунт-сила/дюйм² (1,72 МПа) или в пределах от 10 фунт-сила/дюйм² до 100 фунт-сила/дюйм² (689,5 кПа). Кроме того, лабораторные условия могут включать в себя температуры в пределах от 40 °F (4,4 °C) до 600 °F (315,6 °C), в пределах от 40 °F до 500 °F (260 °C) или в пределах от 60 °F (15,6 °C) до 400 °F (204,4 °C). Например, заводняющий флюид может подаваться под давлением в пределах от 10 фунт-сила/дюйм² (68,95 кПа) до 250 фунт-сила/дюйм² (1,72 МПа), тогда как визуализирующий флюид может подаваться под давлением в пределах от 10 фунт-сила/дюйм² до 150 фунт-сила/дюйм² (1,03 МПа).

[053] Преимущество заключается в том, что предложенные технические решения обеспечивают различные улучшения. Во-первых, поры, которые меньше, чем разрешающая способность визуализации, которые могут быть обозначены одной ячейкой или вокселем, могут быть корректно проанализированы относительно суммарного влияния на объем вокселя. Этот аспект может быть назван субвоксельным разрешением. Во-вторых, в обычных способах томографической визуализации используют специализированные ненативные жидкости для создания контраста между нефтью и водой. Однако в предложенных технических решениях ненативные флюиды не используют и не вводят в образец керна. При отказе от использования ненативных флюидов любые происходящие изменения характеристик смачивания образца керна могут быть снижены по сравнению со случаем, когда вводят ненативные флюиды (например, жидкости). В соответствии с этим при использовании визуализирующего флюида (например, визуализирующего газа, такого как газообразный ксенон или газообразный криптон) образец керна (например, порода) не изменяется, при этом для образца керна можно использовать природные флюиды.

[054] Кроме того, предложенные технические решения могут включать в себя различные конфигурации, в которых используется давления и выполняются способы визуализации. Эти способы визуализации могут выполняться относительно образца керна, заключенного в измерительную ячейку, находящуюся под всесторонним давлением. Измерительная ячейка может представлять собой механизм для оценивания изменений в образце керна под действием потока нефти и/или воды. Оценивание потока от поры к поре обеспечивает получение дополнительных данных измерений,

которые могут представлять собой данные, связанные с потенциалом пород коллектора, когда поток может регулироваться в соответствии со сложной геометрией пор.

[055] В некоторых конфигурациях заводнящий флюид можно использовать для улучшения оценки. Например, при вторичной добыче воду, другой флюид или газ можно использовать для продвижения нефти из породы в подземный пласт. Это движение нефти зависит от поровой структуры и следовательно, по нему можно понять, каким образом максимизировать добычу и идентифицировать обходные области, которые могут быть получены с помощью этой процедуры.

[056] В других конфигурациях ЯМР-визуализация может использоваться в качестве ведущего способа или может быть объединена с другим способом визуализации. Например, ЯМР-визуализация может использоваться вместе с КТ-визуализацией. ЯМР-визуализация, которая является чувствительной к компонентам флюида в образце керна (например, в породе), обеспечивает дополнительные данные или налагает ограничения, которые могут использоваться при анализе результатов КТ-визуализации, которая позволяет обнаруживать как флюид, так и породу. Например, результаты ЯМР-визуализации могут обеспечивать получение 1) общей пористости при заполнении флюидом, 2) отношения количества мелких пор к количеству крупных пор и/или 3) содержания воды и/или нефти в образце керна.

[057] В некоторых конфигурациях разделение данных изображения на составляющие (например, на породу, воду, нефть и т.д.) может быть одним из этапов анализа. Разделение данных изображения может быть названо сегментацией. Обычная визуализация может вносить погрешность, а предложенные технические решения могут снижать неопределенность. Например, в случае использования результатов КТ-визуализации процедурой сегментации можно разделять томографические воксельные данные на признаки. Хотя можно использовать различные способы, каждый может включать в себя выбор приближенного коэффициента ослабления рентгеновского излучения, соответствующего каждому признаку. Обычный выбор коэффициентов ослабления рентгеновского излучения, при котором используют только данные изображения, является трудным и характеризуется значительной неопределенностью при определении признака. В соответствии с этим с помощью предложенных технических решений можно выполнять

сегментацию, которая может быть основана на ином способе визуализации, для наложения ограничения на линейные коэффициенты ослабления. Например, результаты ЯМР-визуализации можно использовать в результатах КТ-визуализации для наложения ограничения на выбор коэффициентов ослабления рентгеновского излучения. Это может включать в себя наложение первого ограничения на получение наборов коэффициентов, которые представляют пористость, надлежащим образом ограниченную. При использовании второго ограничения может быть выбрана пара коэффициентов, которая может дублировать структуру размера пор. Наконец, за третьим ограничением может стоять выбор коэффициента для визуализирующего флюида (например, визуализирующего газа, такого как газообразный ксенон или газообразный криптон) для насыщенной газом нефти, дающего точное содержание нефти и воды. Сочетанием ограничений обеспечивается количественная сегментация, которую нельзя получить при использовании обычного анализа, и меньшие неопределенности при определении количеств и местоположений нефти и/или воды на всем протяжении образца керна. Согласно этому аспекту можно получать дополнительную информацию для определения остаточной нефти после закачивания заводняющего флюида.

[058] Для достижения различных усовершенствований предложенные технические решения могут включать в себя выполнение способа образования и использования результатов визуализации образца керна при работах с углеводородами. Способ содержит получение образца керна, связанного с подземной областью, воздействие на образец керна визуализирующим флюидом, получение результатов визуализации путем выполнения способа визуализации образца керна, при этом визуализирующий флюид присутствует в образце керна во время выполнения способов визуализации, и вывод результатов визуализации.

[059] Согласно другим конфигурациям способ может включать в себя различные усовершенствования. Например, способ содержит использование ЯМР-визуализации образца керна и/или использование КТ-визуализации образца керна. Кроме того, способ может содержать получение дополнительных результатов визуализации путем выполнения второго способа визуализации образца керна, при этом визуализирующий флюид присутствует в образце керна во время выполнения вторых способов визуализации; при этом визуализирующий флюид обладает избирательностью к углеводородам

относительно воды больше чем 1,1; при этом визуализирующий флюид обладает избирательностью к углеводородам относительно воды больше чем 5; при этом визуализирующий флюид содержит газообразный ксенон; при этом визуализирующий флюид содержит 50 об.% или больше газообразного ксенона исходя из всего объема визуализирующего флюида; при этом визуализирующий флюид содержит 70 об.% или больше газообразного ксенона исходя из всего объема визуализирующего флюида; при этом визуализирующий флюид содержит газообразный криптон; при этом визуализирующий флюид содержит 50 об.% или больше газообразного криптона исходя из всего объема визуализирующего флюида; при этом визуализирующий флюид содержит 70 об.% или больше газообразного криптона исходя из всего объема визуализирующего флюида; определение извлекаемого из образца керна флюида на основании результатов визуализации; определение распределения нефти, воды или любого сочетания из них на основании результатов визуализации; определение количества пор в образце керна, распределения пор в образце керна, содержания пор на основании результатов визуализации; воздействие заводняющим флюидом на образец керна одновременно с выполнением способа визуализации образца керна; при этом заводняющий флюид представляет собой воду или является повышающим извлечение углеводородов флюидом; бурение скважины для получения образца керна из подземной области; выполнение моделирования потока на основании одного из результатов визуализации, результатов моделирования и любого сочетания из них.

[060] Согласно еще одной конфигурации предложенные технические решения могут включать в себя систему визуализации. Система визуализации содержит блок образца керна, блок визуализирующего флюида и монитор. Блок образца керна содержит корпус и множество клапанов, при этом корпус образует внутреннюю область, выполненную с возможностью удержания образца керна, и изолирует внутреннюю область от внешних условий, множество клапанов выполнены с возможностью обеспечения путей потока флюида между внутренней областью и внешними местами по отношению к внутренней области. Блок визуализирующего флюида находится в сообщении по текучей среде с блоком образца керна и выполнен с возможностью воздействия на образец керна заводняющим флюидом. Система визуализации выполнена с возможностью образования результатов визуализации образца керна в блоке образца керна и сохранения результатов визуализации в запоминающем устройстве.

Монитор может быть выполнен с возможностью отображения результатов визуализации.

[061] Согласно другим конфигурациям система визуализации может включать в себя различные усовершенствования. Например, система визуализации может включать в себя блок визуализирующего флюида, который содержит один или несколько резервуаров, одну или несколько труб и один или несколько клапанов, которые соединены друг с другом и выполнены с возможностью подачи визуализирующего флюида, имеющего определенный состав. Система визуализации может содержать систему ядерной магнитно-резонансной (ЯМР) визуализации, выполненную с возможностью образования результатов ЯМР-визуализации образца керна в блоке образца керна, и систему компьютерной томографической (КТ) визуализации, выполненную с возможностью образования результатов КТ-визуализации образца керна в блоке образца керна; систему управления, выполненную с возможностью соединения с системой визуализации и управления регистрацией результатов визуализации; при этом система управления кроме того выполнена с возможностью регулирования условий давления, температурных условий или любого сочетания из них, воздействию которых образец керна подвергается во время образования результатов визуализации; нагревательный блок, связанный с блоком образца керна, при этом нагревательный блок выполнен с возможностью соединения с блоком управления и регулирования температуры в блоке образца керна; датчик температуры, связанный с нагревательным блоком, блоком образца керна или любым сочетанием из них, при этом датчик температуры выполнен с возможностью измерения данных о температуре в блоке образца керна и передачи данных о температуре к блоку управления, нагревательному блоку или любому сочетанию из них; блок давления, связанный с блоком образца керна, при этом блок давления выполнен с возможностью соединения с блоком управления и регулирования давления в блоке образца керна; и датчик давления, связанный с блоком давления, блоком образца керна или любым сочетанием из них; при этом датчик давления выполнен с возможностью измерения данных о давлении в блоке образца керна и передачи данных о давлении на блок управления, блок давления или любое сочетание из них; блок заводнящего флюида в сообщении по текучей среде с блоком образца керна, при этом блок заводнящего флюида выполнен с возможностью воздействия на образец керна заводнящим флюидом, при этом блок заводнящего флюида выполнен

с возможностью соединения с блоком управления и управления потоком заводнящего флюида во внутреннюю область блока образца керна.

[062] Согласно еще одной конфигурации предложенные технические решения могут включать в себя систему для образования результатов визуализации образца керна, связанного с подземной областью. Система содержит процессор, устройство ввода в соединении с процессором и выполненное с возможностью приема входных данных, связанных с подземной областью, запоминающее устройство в соединении с процессором, при этом запоминающее устройство содержит набор инструкций. Набор инструкций выполнен с возможностью обеспечения, при исполнении процессором, изолирования образца керна, связанного с подземной областью, в системе визуализации, воздействия на образец керна заводнящим флюидом, получения результатов визуализации путем выполнения способа визуализации образца керна, при этом визуализирующий флюид присутствует в образце керна во время выполнения способов визуализации, и вывода результатов визуализации.

[063] Согласно другим конфигурациям система может включать в себя различные усовершенствования. Например, набор инструкций может быть выполнен с возможностью обеспечения, при исполнении процессором, определения флюида, добываемого из образца керна, на основании результатов визуализации; может быть кроме того выполнен с возможностью обеспечения определения распределения нефти, воды или любого сочетания из них на основании результатов визуализации; может быть кроме того выполнен с возможностью обеспечения определения количества пор в образце керна, распределения пор в образце керна и/или содержания пор на основании результатов визуализации; может быть кроме того выполнен с возможностью обеспечения воздействия заводнящим флюидом на образец керна одновременно с выполнением визуализации образца керна; может быть кроме того выполнен с возможностью обеспечения выполнения моделирования потока на основании одного из результатов визуализации; и/или может быть кроме того выполнен с возможностью обеспечения представления оповещения, связанного с работой с углеводородами, на основании одного из результатов визуализации, результатов моделирования и любого сочетания из них. Набор инструкций может быть кроме того выполнен с возможностью обеспечения, при исполнении процессором, выполнения второй визуализации образца керна, воздействия вторым

заводнящим флюидом на образец керна одновременно с выполнением второй визуализации образца керна и сравнение результатов визуализации при заводнящем флюиде и втором заводнящем флюиде для определения более эффективного повышающего извлечение углеводородов флюида.

[064] Преимущество заключается в том, что предложенными техническими решениями обеспечиваются различные усовершенствования при работах с углеводородами. Согласно некоторым конфигурациям предложенными техническими решениями могут обеспечиваться результаты, которые включают в себя дополнительные данные, такие как размер, форма и/или местоположение пор. Кроме того, при приложении градиента давления к породным средам можно получать непосредственный показатель влияния поровой структуры среды на поток. Такая характеристика потока может быть полезной при оценивании потока углеводородов и экономического потенциала породы коллектора. Кроме того, предложенными техническими решениями обеспечивается механизм, который позволяет получать меньшую неопределенность при выполнении КТ-визуализации, выполнении ЯМР-визуализации и/или подаче визуализирующего флюида в образец керна. Результаты визуализации могут быть использованы для оптимизации размещения скважины, построения и имитации модели геологической среды с меньшей неопределенностью и/или оценивания качества способов добычи углеводородов из подземной области. Эти достоинства обеспечивают оптимальное использование ресурсов при выполнении усовершенствованных работ с углеводородами. Предложенные технические решения могут быть поняты при обращении к фиг. 1-11, которые описываются ниже.

[065] На фиг. 1 представлен пример блок-схемы 100 последовательности действий, включающих визуализацию образцов керна и использование результатов визуализации согласно варианту осуществления предложенных технических решений. Блок-схема 100 последовательности действий включает в себя способ выполнения двух или большего количества способов визуализации образца керна, которые могут быть использованы для улучшения модели геологической среды и использованы для усовершенствования работ с углеводородами. Способы визуализации могут быть статическими способами визуализации (например, визуализации без индуцированного потока флюида) и/или динамическими способами визуализации (например, визуализации во время индуцированного

потока флюида). Как показано в блоках с 102 по 106, способ может включать в себя получение образца керна и данных, связанных с подземной областью. Затем, как показано в блоках с 107 по 116, способ включает в себя выполнение различных способов визуализации образца керна для образования результатов визуализации. Наконец, как показано в блоках 118 и 124, результаты визуализации могут быть использованы для оценивания образца керна и/или выполнения моделирования и при работах с углеводородами.

[066] Для начала, как показано в блоках с 102 по 106, способ включает в себя получение образца керна и данных, связанных с подземной областью. Согласно блоку 102 получают образец керна, связанный с подземной областью. Образец керна может быть отобран и/или получен из ствола скважины и/или с места складирования. Образец керна может быть из любой части коллектора, который представлен в модели геологической среды. В ином случае образец керна может быть из аналогичного коллектора, анализ которого может быть использован для улучшения представляющей интерес модели геологической среды. Согласно блоку 104 могут быть получены данные о пористости и/или проницаемости. Данные о пористости и/или проницаемости могут быть получены для сопутствующей породы, намеченной для реализации предложенных технических решений (например, для другого образца из той же самой скважины и/или образца из другой скважины, которая может находиться в той же самой области или районе). Такими данными можно руководствоваться при применении процедур. Данные о пористости и/или проницаемости могут быть вычислены, могут быть вызваны из запоминающего устройства и/или могут быть измерены. Согласно блоку 106 насыщение образца керна может быть восстановлено. Восстановление насыщения, которое может быть выполнено в качестве опции, может включать в себя нагнетание в образец эталонного флюида, примером которого является природная сырая нефть.

[067] Как показано в блоках с 107 по 116, после получения образца керна выполняют различные способы визуализации образца керна (например, различные статические способы визуализации), чтобы образовать результаты визуализации. Согласно блоку 107 на образец керна воздействуют визуализирующим флюидом. Согласно блоку 108 выполняют ЯМР-визуализацию образца керна. ЯМР-визуализация может включать в себя ^1H -спектроскопию, T_2 -

релаксометрию, ЯМР-диффузометрию с градиентом пульсирующего поля, одномерную МР-визуализацию, двумерную МР-визуализацию или трехмерную МР-визуализацию флюида в образце керна. Результаты ЯМР-визуализации могут включать в себя количество нефти и другого флюида (например, соляного раствора) в образце керна, общую пористость при заполнении флюидом, относительные доли мелких и крупных, заполненных флюидом пор и/или распределение флюида в образце и срезах образца. Согласно блоку 110 может быть выполнена КТ-визуализация образца керна. КТ-визуализация может включать в себя двумерную визуализацию и трехмерные реконструкции. Результаты КТ-визуализации могут включать в себя идентификацию высокопористых зон, трещин и обнаружение определенных минералов (например, пирита). Согласно блоку 112 определяют, завершился ли сбор данных об образце. Это определение может включать в себя оценивание количества изображений в результатах визуализации, оценивание качества результатов визуализации, определение, прошло ли определенное время, и/или определение, получено ли определенное количество изображений. Если сбор данных об образце не завершен, то, как показано в блоке 114, может быть выполнена коррекция условий для образца керна. Коррекция условий может включать в себя регулирование давления, воздействию которого подвергается образец керна во время визуализации, регулирование температуры, воздействию которой подвергается образец керна во время визуализации, коррекцию флюида (например, заводнящего флюида или визуализирующего флюида), воздействию которого подвергается образец керна во время визуализации, и/или коррекцию образца керна. Если сбор данных об образце завершен, то, как показано в блоке 116, результаты визуализации могут быть выведены. Вывод результатов визуализации может включать в себя сохранение результатов визуализации в запоминающем устройстве и/или отображение результатов визуализации.

[068] Как показано в блоках 118 и 124, после завершения сбора данных об образце результаты визуализации могут быть использованы для оценивания образца керна и/или для выполнения моделирований и при работах с углеводородами. Согласно блоку 118 распределение нефти и/или воды может быть определено по результатам визуализации. Определение распределения нефти и/или воды может включать в себя связывание этого распределения с конкретными характеристиками пор, такими как, например, размер.

Согласно блоку 120 модель геологической среды может быть скорректирована на основании результатов визуализации. Коррекция модели геологической среды может включать в себя, например, коррекцию одного или нескольких свойств в существующей модели геологической среды и/или построение модели геологической среды со свойствами, по меньшей мере частично основанными на результатах визуализации. Построение модели геологической среды может включать в себя идентификацию представляющей интерес подземной области, формулировку модели геологической среды для представления подземной области и пополнение или придание модели геологической среды свойств, таких как свойства потока или механической породы. Модель геологической среды может быть одномерной (1М), двумерной (2М) или трехмерной (3М) моделью, такой как, например, числовая модель конечных элементов, и может включать в себя сетку с различными элементами или ячейками сетки.

[069] Как показано в блоке 122, моделирование может быть выполнено для образования результатов моделирования. При выполнении моделирования результаты визуализации могут быть пополнены другими данными для образования модели коллектора или геологической модели, которая может быть использована для выполнения моделирования потока. Пополнение может включать в себя придание дополнительных свойств ячейкам, связанных с одним или несколькими объектами или другими отдельными подобъектами. Свойства могут включать в себя коэффициент передачи, вид породы, пористость, проницаемость, сжимаемость породы, насыщение нефтью, содержание глины и/или, например, коэффициент цементации. Выполнение моделирования может включать в себя моделирование движения флюида на основании модели коллектора и соответствующих свойств, сохраняемых в ячейках модели коллектора. Результаты моделирования могут включать в себя изменяющееся во времени давление флюида и данные о составе флюида (например, о нефти, воды и/или газонасыщенности) и прогноз относительно объемов флюида, добываемых или нагнетаемых в скважины. Выполнение моделирования может включать в себя моделирование структурных изменений на основании геологической модели и связанных с ней свойств, сохраняемых в ячейках геологической модели. Например, при снижении давления в коллекторе может уменьшаться пористость, что может приводить к провисанию перекрывающей породы. Результаты моделирования и/или модель коллектора могут быть

выведены. Вывод результатов моделирования может включать в себя отображение на мониторе результатов моделирования, которые могут включать в себя образованные данные, а также геологическую модель и/или модель коллектора, и/или сохранение результатов моделирования в запоминающем устройстве компьютерной системы. При моделировании можно моделировать движение флюида или геомеханическую визуализацию на различных временных этапах в течение заданного периода времени на основании параметров геологической среды, и/или граничных условий для каждого временного этапа, и/или данных, образованных на предшествующих временных этапах. Параметры геологической среды могут включать в себя механические свойства породы (например, модуль упругости, параметры пластичности), параметры упругости пор, растяжимость и прочность при одноосном сжатии, условия сцепления и фрикционные свойства границ раздела пород, количество, толщину и распределение отдельных слоев породы, геометрию и фрикционные свойства сброса, пористость, поровое давление, термические коэффициенты и другие подходящие параметры.

[070] Согласно блоку 124 результаты моделирования и/или результаты визуализации могут быть использованы при выполнении работ с углеводородами. Работы с углеводородами могут включать в себя работы по разведке углеводородов, работы по разработке месторождения углеводородов и/или работы по добыче углеводородов. Например, результаты моделирования и/или результаты визуализации могут быть использованы при прогнозировании запасов или коррекции прогнозов запасов, оценок запасов и/или прогнозировании эксплуатационной характеристики скважины. Согласно другому примеру результаты визуализации могут быть использованы для получения контрольных характеристик положительного или отрицательного расхода из скважины, которая уже пробурена, или отсеивания потенциально продуктивных подземных областей до отработки площади и принятия программы бурения скважины или для определения, какие геологические слои целесообразно перфорировать или выполнять относительно них работы по заканчиванию, такие как гидравлический разрыв пласта, при бурении продуктивной скважины. Согласно еще одному примеру результаты могут быть использованы для определения, имеется ли достаточное сообщение по давлению между коллектором углеводородов и водоносным горизонтом, необходимое для поддержания давления флюида, обеспечивающего рентабельную добычу

с дополнительными нагнетательными скважинами или без них. Согласно еще одному примеру связность поровой сетки может быть использована для оценивания целостности герметичных при высоких давлениях слоев с высокой капиллярностью, покрывающих породы коллектора, чтобы определять вероятность наличия или отсутствия углеводородов в нижележащем подземном коллекторе, которая зависит от целостности уплотнения, не разрушенного наличием соединенных сеток пор. Согласно еще одному примеру результаты моделирования и/или результаты визуализации могут быть использованы для коррекции работ по добыче углеводородов, таких как размещение или модификация скважины или завершение, модификация или коррекция бурильных работ, снижение проникновения трещины и/или установка и модификация оборудования для ведения добычи. Оборудование для ведения добычи может включать в себя один или несколько блоков для обработки и контроля добываемых флюидов, таких как углеводороды и/или вода, из пласта.

[071] Преимущество заключается в том, что способ обеспечивает повышение добычи, улучшение разработки месторождения и/или разведки углеводородов. В частности, предложенные технические решения повышают влияние геологии на модели геологической среды вследствие связывания характеристик потока с поровой структурой. В предложенных технических решениях объединяются геологические описания пор и текстур, которые связаны с дескрипторами, такими как тип фаций, и связываются геологические описания с характеристиками потока. Поэтому получающееся, определяемое геологией описание геологической среды согласуется с моделью геологической среды, которая сильно зависит от описаний потока.

[072] Как можно понять, блоки из фиг. 1 можно исключать, повторять, выполнять в другом порядке или пополнять дополнительными непоказанными этапами. Некоторые блоки можно выполнять последовательно, тогда как другие можно выполнять одновременно, в сочетании или параллельно. Например, в некоторых конфигурациях ЯМР-визуализацию и КТ-визуализацию можно выполнять на различных этапах (например, при различных условиях, таких как различные давления и/или различные температуры, воздействию которых образец керна подвергается во время визуализации). Кроме того, в других конфигурациях первый способ визуализации, такой как ЯМР-визуализация, может использоваться для ограничения

второго способа визуализации, такого как КТ-визуализация. В такой конфигурации используют только один или оба способа визуализации, когда образец керна подвергают воздействию на различных этапах. Согласно другому примеру визуализирующий флюид и/или заводняющий флюид может использоваться при выполнении блоков 108, 110 или 114 во время визуализации образца керна.

[073] На фиг. 2 представлен пример блок-схемы 200 последовательности действий, включающих динамическую визуализацию образца керна при наличии визуализирующего флюида (например, визуализирующего газа, визуализирующей жидкости и/или любого сочетания из них) согласно варианту осуществления предложенных технических решений. Блок-схема 200 последовательности действий включает в себя способ выполнения визуализации образца керна и использования заводняющего флюида и/или визуализирующего флюида во время визуализации образца керна. Как показано в блоках с 202 по 204, способ включает в себя получение образца керна и данных, связанных с подземной областью, и, как показано в блоках с 206 по 228, выполнение визуализации образца керна при наличии одного из заводняющего флюида, визуализирующего флюида или любого сочетания из них во время визуализации образца керна.

[074] Сначала согласно блоку 202 получают образец керна и данные, связанные с подземной областью. Аналогично рассмотрению блока 102 из фиг. 1 образец керна может быть получен или отобран из скважины, связанной с подземной областью. Затем, как показано в блоке 204, могут быть получены данные о пористости и/или проницаемости. Аналогично блоку 101 из фиг. 1 данные о пористости и/или проницаемости могут быть получены путем обращения к запоминающему устройству, вычисления на основании характеристик образца или других данных и/или измерения образца керна и/или в стволе скважины.

[075] Затем, как показано в блоках с 206 по 228, могут быть выполнены визуализация образца керна вместе с одним из заводняющего флюида, визуализирующего флюида или любого сочетания из них во время визуализации образца керна. Согласно блоку 206 образец керна подготавливают к визуализации. Подготовка к визуализации может включать в себя удаление флюида для обеспечения полного доступа к порам визуализирующему флюиду или заполнение образца керна природным флюидом, таким как сырая нефть. Согласно блоку 208 визуализирующий флюид, такой как

визуализирующий газ или визуализирующая жидкость, может быть определен или выбран при выполнении визуализации. Определение визуализирующего флюида, предпочтительно визуализирующего газа, может включать в себя определение значений коэффициента поглощения рентгеновского излучения в используемом диапазоне давлений газа и растворимостей в одном или нескольких флюидах в образце или флюиде, который не обнаруживается при ядерном магнитном резонансе, таком как D₂O или фторуглеводороды. Согласно блоку 210 может быть получено начальное изображение образца керна. При необходимости начальное изображение может быть получено для построения основного изображения при использовании способов визуализации. Согласно блоку 212 визуализирующий флюид может быть подан в образец керна. Подача визуализирующего флюида может включать в себя мониторинг нагнетания в образец путем измерения затухания рентгеновского излучения в образце керна или реагирования ядерного магнитного резонанса на образец керна. Согласно блоку 214 может быть получено изображение распределения нефти и/или воды. Изображение распределения нефти и/или воды может включать в себя двумерные изображения и/или трехмерные изображения.

[076] Согласно блоку 216 может быть определен или выбран заводнящий флюид. Определение заводнящего флюида может включать в себя нахождение подобия с природным флюидом в коллекторе или тестовым флюидом для оценивания характеристик повышения извлечения нефти. Заводнящий флюид может включать в себя воду, соляной раствор, буровые растворы и/или другие материалы для повышения извлечения нефти. Согласно блоку 218 образец керна во время визуализации заполняют заводнящим флюидом. Образец керна может быть заполнен любым из нескольких флюидов при расходах, аналогичных расходам, используемым при эксплуатации промысла. Способом визуализации можно получать изображения на различных этапах заводнения и/или после завершения заводнения для оценивания характеристик извлечения нефти. Способы визуализации могут включать в себя КТ-визуализацию и/или ЯМР-визуализацию.

[077] Как показано в блоке 220, после завершения заводнения образца керна может быть получено конечное изображение распределения нефти и/или воды. При необходимости конечное изображение может быть получено для представления конечного состояния образца керна при использовании способов визуализации,

для сравнения с исходным изображением или любыми последующими изображениями. Затем, как показано в блоке 222, результаты визуализации могут быть оценены. Оценивание результатов визуализации может включать в себя сравнение с математическими моделями. После этого согласно блоку 224 определяют, являются ли результаты визуализации удовлетворительными. Определение может включать в себя определение, является ли при оценивании качество результатов визуализации приемлемым, определение, прошло ли определенное время, и/или определение, зарегистрировано ли определенное количество изображений. Если результаты визуализации являются неудовлетворительными, то как показано в блоке 226, может быть осуществлена коррекция образца керна, заводняющего флюида и/или визуализирующего флюида. Коррекция может включать в себя использование дополнительных объемов заводняющего флюида или изменение давления визуализирующего флюида. Если результаты визуализации являются удовлетворительными, то, как показано в блоке 228, результаты визуализации могут быть выведены. Вывод результатов визуализации может включать в себя сохранение результатов визуализации в запоминающем устройстве и/или отображение результатов визуализации.

[078] Преимущество заключается в том, что предложенные технические решения обеспечивают расширение возможностей при добыче, разработке месторождения и/или разведке углеводородов. Кроме того, предложенными техническими решениями улучшаются связанные с геологией модели геологической среды за счет связывания характеристик потока с поровой структурой. Геологические описания пор и текстур, которые реализуются в дескрипторах, таких как тип фаций, могут быть связаны с характеристиками потока. Поэтому получающееся, определяемое геологией описание геологической среды согласуется с моделью геологической среды, в которой могут использоваться описания потоков.

[079] Как можно понять, блоки из фиг. 2 можно исключать, повторять, выполнять в другом порядке или пополнять дополнительными этапами, не показанными на фиг. 2. Например, процесс может включать в себя использование КТ-визуализации во время заводнения образца керна, но также может включать в себя другой способ визуализации, такой как ЯМР-визуализация, для получения начальных и конечных результатов визуализации

(например, изображений) образца керна.

[080] На фиг. 3 представлен пример блок-схемы 300 последовательности действий, включающих выполнение многочисленных и динамических способов визуализации согласно варианту осуществления предложенных технических решений. Согласно этой схеме 300 выполняют динамическую КТ-визуализацию образца керна вместе со статической ЯМР-визуализацией, выполняемой, чтобы получать дополнительные ограничивающие условия для обработки результатов визуализации. Кроме того, способ может включать в себя использование визуализирующего флюида и заводняющего флюида во время КТ-визуализации образца керна. Как показано в блоках с 302 по 306, способ включает в себя получение образца керна и данных, связанных с подземной областью, и, как показано в блоках с 308 по 328, выполнение визуализации образца керна.

[081] Сначала согласно блоку 302 получают образец керна и данные, связанные с подземной областью. Аналогично блоку 102 из фиг. 1 образец керна может быть получен или отобран из скважины, связанной с подземной областью. Затем, как показано в блоке 304, могут быть получены данные о пористости и/или проницаемости. Аналогично блоку 104 из фиг. 1 данные о пористости и/или проницаемости могут быть получены путем обращения к запоминающему устройству, вычисления на основании образца керна или других данных и/или измерения образца керна и/или в стволе скважины. Согласно блоку 306 может быть выполнено восстановление насыщения образца керна. Аналогично блоку 106 из фиг. 1 насыщение образца керна может быть восстановлено до ряда уровней.

[082] Затем, как показано в блоках с 308 по 328, способ включает в себя выполнение визуализации образца керна. Согласно блоку 308 ЯМР-визуализацию выполняют, чтобы оценить начальное распределение (например, содержание и местоположение) нефти и/или воды в образце керна. ЯМР-визуализация, которая является статическим способом визуализации, может включать в себя ^1H -спектроскопию, T_2 -релаксометрию, ЯМР-диффузометрию с градиентом пульсирующего поля, одномерную МР-визуализацию, двумерную МР-визуализацию или трехмерную МР-визуализацию флюида в образце керна. Результаты ЯМР-визуализации могут включать в себя количество нефти и соляного рассола в образце керна, общую пористость при заполнении флюидом, относительные доли мелких и

крупных заполненных флюидом пор, распределение флюида по образцу керна и по срезам образца. Согласно блоку 310 начальное компьютерное томографическое (КТ) изображение может быть получено для образца керна. КТ-изображение получают, чтобы иметь исходное КТ-изображение образца керна. Согласно блоку 312 визуализирующий флюид, такой как визуализирующий газ, подают к образцу керна. Подача визуализирующего флюида может включать в себя мониторинг нагнетания в образец керна путем измерения затухания рентгеновского излучения в образце керна. Согласно блоку 314 может быть получено КТ-изображение распределения нефти и/или воды. КТ-изображение распределения нефти и/или воды может включать в себя двумерные изображения и трехмерные изображения.

[083] Согласно блоку 316 образец керна заполняют заводняющим флюидом во время КТ-визуализации. Образец керна может быть заполнен любым из нескольких флюидов при расходах, которые аналогичны расходам, используемым при выполнении работ с углеводородами (например, промысловых работ). КТ-визуализацией можно получать изображения на разных этапах заводнения или после завершения заводнения для оценивания характеристик извлечения нефти. Как показано в блоке 318, после завершения заводнения образца керна может быть получено конечное КТ-изображение распределения нефти и/или воды. При необходимости конечное изображение может быть получено для представления конечного состояния образца керна при использовании способа КТ-визуализации, для сравнения с исходным или первоначальным КТ-изображением или любыми последующими КТ-изображениями. Согласно блоку 320 ЯМР-визуализацию выполняют, чтобы оценить начальное распределение нефти и/или воды, например содержание и местоположение нефти и/или воды. ЯМР-визуализация может включать в себя ^1H -спектроскопию, T_2 -релаксометрию, ЯМР-диффузометрию с градиентом пульсирующего поля, одномерную МР-визуализацию, двумерную МР-визуализацию или трехмерную МР-визуализацию флюидов в образце керна. Результаты ЯМР-визуализации могут включать в себя количество нефти или других флюидов (например, соляного раствора) в образце керна, общую пористость при полном заполнении флюидом, относительные доли мелких и крупных, заполненных флюидом пор, распределение флюида в образце и срезах образца.

[084] Затем, как показано в блоке 322, результаты визуализации могут быть оценены. Оценивание результатов

визуализации может включать в себя сравнение с математическими моделями. После этого согласно блоку 324 определяют, являются ли результаты визуализации удовлетворительными. Определение может включать в себя определение, является ли при оценивании качество результатов визуализации приемлемым, определение, прошло ли определенное время, и/или определение, получено ли определенное количество изображений. Если результаты визуализации являются неудовлетворительными, то, как показано в блоке 326, может быть выполнена коррекция образца керна, заводнящего флюида и/или визуализирующего газа. Коррекция может включать в себя использование дополнительных объемов заводнящего флюида и/или изменение давления визуализирующего флюида. Если результаты визуализации являются удовлетворительными, то, как показано в блоке 328, результаты визуализации могут быть выведены. Вывод результатов визуализации может включать в себя сохранение результатов визуализации в запоминающем устройстве и/или отображение результатов визуализации.

[085] Как можно понять, блоки из фиг. 3 можно исключать, повторять, выполнять в другом порядке или пополнять дополнительными этапами, не показанными на фиг. 3. Например, рабочие условия при выполнении этапов из фиг. 3 могут быть аналогичны скважинным условиям, и они могут включать в себя аналогичные температуры и/или давления наряду с аналогичными состояниями потока (например, поток является ламинарным). В частности, скважинные условия могут включать в себя давления в пределах от 10 фунт-сила/дюйм² (68,95 кПа) до 4000 фунт-сила/дюйм² (27,58 МПа), в пределах от 10 фунт-сила/дюйм² до 2000 фунт-сила/дюйм² (13,78 МПа) или в пределах от 10 фунт-сила/дюйм² до 1000 фунт-сила/дюйм² (6,89 МПа). Кроме того, скважинные условия могут включать в себя температуры в пределах от 60 °F (15,6 °C) до 800 °F (426,7 °C), в пределах от 60 °F до 600 °F (315,6 °C) или в пределах от 60 °F до 500 °F (260,0 °C). Согласно еще одному примеру рабочие условия могут включать в себя лабораторные условия, которые могут включать в себя температуры, давления и/или режимы потока, отличающиеся от существующих в скважинных условиях. В частности, лабораторные условия могут включать в себя давления в пределах от 10 фунт-сила/дюйм² (68,95 кПа) до 500 фунт-сила/дюйм² (3,45 МПа), в пределах от 10 фунт-сила/дюйм² до 250 фунт-сила/дюйм² (1,72 МПа) или в пределах от 10 фунт-сила/дюйм² до 100 фунт-сила/дюйм².

(689,5 кПа). Кроме того, лабораторные условия могут включать в себя температуры в пределах от 40 °F (4,4 °C) до 600 °F (315,6 °C), в пределах от 40 °F до 500 °F (260 °C) или в пределах от 60 °F (15,6 °C) до 400 °F (204,4 °C).

[086] На фиг. 4 представлен пример структурной схемы системы 400 визуализации образца керна согласно варианту осуществления предложенных технических решений. В системе 400 визуализации образца керна (непоказанный) образец керна может быть расположен во внутренней области блока 402 образца керна. Блок 402 образца керна может иметь корпус, который образует внутреннюю область, которая изолирована от внешних условий снаружи корпуса, и различные клапаны, которые обеспечивают пути протекания флюида во внутренние области и из них. Система 400 визуализации образца керна может быть выполнена с возможностью содержания образца керна в изолированной и контролируемой среде для создания определенных условий давления и температуры для образца керна и с возможностью мониторинга этих условий. Кроме того, система 400 визуализации образца керна может быть выполнена с возможностью подачи и регулирования визуализирующего флюида и/или заводнящего флюида для взаимодействия с образцом керна. Кроме того, система 400 визуализации образца керна может быть выполнена с возможностью выполнения различных способов визуализации образца керна для получения результатов визуализации, таких как динамические изображения и/или статические изображения.

[087] Для регулирования условий давления и температуры, действию которых образец керна подвергается во время визуализации, система 400 визуализации образца керна может включать в себя систему 410 управления, которая может использоваться вместе с и находиться в соединении с нагревательным блоком 412, блоком 416 давления, датчиком 414 температуры и датчиком 418 давления. Нагревательный блок 412 может быть выполнен с возможностью повышения, понижения или поддержания температуры в блоке 402 образца керна. Нагревательный блок 412 может включать в себя печь, электрический нагреватель, бойлер, теплообменник и/или любое сочетание из них. Датчик 414 температуры может быть выполнен с возможностью измерения данных о температуре, связанных с внутренней областью блока 402 образца керна, для сохранения измеренных данных о температуре и/или передачи данных о

температуре или сообщения, имеющего отношение к данным о температуре, в блок 410 управления. Датчик 414 температуры может включать в себя единственный датчик температуры или два или большее количество датчиков температуры, распределенных вокруг блока 402 образца керна. Датчик 414 температуры может включать в себя термистор, термопару, резистивный термометр или другой подходящий, измеряющий температуру прибор. Аналогично этому, блок 416 давления может быть выполнен с возможностью повышения, понижения или поддержания давления в блоке 402 образца керна. Блок 416 давления может включать в себя компрессор, вентилятор, расширитель и/или любое сочетание из них. Датчик 418 давления может быть выполнен с возможностью измерения давления в виде данных о давлении, связанных с внутренней областью блока 402 образца керна, сохранения измеренных данных о давлении и/или передачи данных о давлении или сообщения, связанного с данными о давлении, в блок 410 управления. Датчик 418 давления может включать в себя единственный датчик давления или два или большее количество датчиков давления, распределенных вокруг блока 402 образца керна. Датчик 418 давления может включать в себя пьезорезистивный деформационный манометр, емкостный манометр, пьезоэлектрический манометр, электромагнитный манометр, оптический манометр или другой подходящий прибор для измерения давления.

[088] Кроме того, для выполнения различных способов визуализации образца керна система 400 визуализации образца керна может включать в себя первую систему 404 визуализации и вторую систему 406 визуализации. Каждая из систем 404 и 406 визуализации может быть выполнена с возможностью получения изображений образца керна (например, статических или динамических изображений), и каждая может реализовывать особый способ визуализации. Например, первая система 404 визуализации может быть системой ЯМР-визуализации, которая выполнена с возможностью получения данных ЯМР-визуализации (например, данных статической визуализации), тогда как вторая система 406 визуализации может быть системой КТ-визуализации, которая выполнена с возможностью получения данных КТ-визуализации (например, данных динамической визуализации). Блок 410 управления может использоваться вместе с первой системой 404 визуализации и второй системой 406 визуализации для управления регистрацией результатов визуализации.

[089] Кроме того, для подачи и управления взаимодействием визуализирующего флюида и/или заводнящего флюида с образцом керна система 400 визуализации образца керна может включать в себя блоки 430 и 422 заводнящего флюида и блок 424 визуализирующего флюида. Например, блоки 420 и 422 заводнящего флюида могут быть в сообщении по текучей среде с блоком 402 образца керна через различные клапаны (непоказанные). Первый блок 420 заводнящего флюида может включать в себя различные резервуары, трубы и клапаны, соединенные друг с другом, для подачи заводнящего флюида, имеющего определенный состав, при определенном расходе. Например, каждый из резервуаров может содержать разные флюиды, которые могут смешаны друг с другом, для приведения заводнящего флюида, имеющего определенный состав, во взаимодействие с образцом керна. При подаче температура, и давление, и/или расход заводнящего флюида могут поддерживаться в определенных пределах. Различные составы заводнящего флюида могут использоваться для тестирования различных способов добычи на образце керна, предназначенных для использования при добыче углеводородов. Второй блок 422 заводнящего флюида может включать в себя сепарационное устройство (например, центрифугу и/или фазовый сепаратор), различные резервуары, трубы и клапаны, соединенные друг с другом, для разделения заводнящего флюида в блоке 402 образца керна на разные компоненты. Затем разные компоненты могут быть поданы в первый блок 420 заводнящего флюида по различным трубам (непоказанным). Блок 424 визуализирующего флюида может включать в себя различные резервуары, трубы и клапаны, соединенные друг с другом, для подачи визуализирующего флюида, имеющего определенный состав. При подаче температура, и давление, и/или расход визуализирующего флюида могут поддерживаться в определенных пределах. Например, каждый из резервуаров может содержать особые визуализирующие флюиды, которые могут использоваться при различных конфигурациях для взаимодействия с образцом керна. Каждый из особых визуализирующих флюидов может иметь различные компоненты и может использоваться для тестирования на образце керна различных способов добычи. Блок 424 визуализирующего флюида может включать в себя сепарационное устройство (например, центрифугу и/или фазовый сепаратор) для разделения визуализирующего флюида на различные компоненты и по соответствующим резервуарам. Блок 410 управления может

использоваться вместе с блоками 420 и 422 заводнящего флюида и блоком 424 визуализирующего флюида для регулирования давления, температуры и расхода соответствующих флюидов.

[090] Одна конфигурация системы визуализации может включать в себя систему КТ-визуализации. Например, на фиг. 5 представлено схематическое изображение 500 примера системы КТ-визуализации. Система КТ-визуализации может включать в себя находящийся под давлением держатель 502 керна, корпус 504 спирального змеевика, источник 506 рентгеновского излучения и детектор 508. Образец 501 керна, который может быть цилиндрическим образцом породы, помещен в находящийся под давлением держатель 502 керна с кожухом 503, окружающим образец керна 501 для изолирования порового пространства породы от окружающих, находящихся под давлением флюидов 520 и 522. На верхнем и нижнем концах образца 501 керна трубопроводы, такие как трубопровод 505 визуализирующего флюида и трубопровод 507 заводнящего флюида, обеспечивают проход визуализирующего флюида из бака 510 для визуализирующего флюида и бака 512 для заводнящего флюида, соответственно. Например, трубопровод 505 визуализирующего флюида может обеспечивать путь потоку между образцом керна и баком 510 для визуализирующего флюида, а также баком 514 для добытого флюида. Трубопровод 505 визуализирующего флюида может включать в себя одну или несколько труб и клапанов, которые используются для управления потоком флюида. Кроме того, трубопровод 505 визуализирующего флюида может включать в себя датчик 523 визуализирующего флюида, который осуществляет мониторинг расхода, давления или температуры флюидов в трубопроводе 505 визуализирующего флюида. Согласно другому примеру трубопровод 507 заводнящего флюида может обеспечивать путь потоку между образцом керна и баком 512 для заводнящего флюида. Заводнящий флюид хранится в баке 512 для заводнящего флюида и может проходить к образцу керна при использовании гидравлического привода 526 (например, конфигурации из двигателя, клапана и поршня). Кроме того, трубопровод 507 заводнящего флюида может включать в себя датчик 524 заводнящего флюида, который осуществляет мониторинг расхода, давления или температуры флюидов в трубопроводе 507 заводнящего флюида.

[091] Для получения результатов КТ-визуализации образца 501 керна в системе 500 КТ-визуализации могут использоваться

источник 506 рентгеновского излучения и детектор 508, которые расположены на противоположных сторонах образца 501 керна. Обработка данных при прохождении пучка рентгеновского излучения через неподвижно установленный образец, показанном стрелками 509, обеспечивает механизм для построения двумерных изображений образца керна. Для получения трехмерных изображений данные изображения могут регистрироваться под многими углами и при вращении образца, поддерживаемым корпусом 504 спирального змеевика, который, как показано стрелками 511, может вращаться. Корпус 504 спирального змеевика может вызывать динамическое натяжение трубопровода, по которому подаются флюиды к образцу 501 керна, расположенному во внутренней области корпуса 504 спирального змеевика. Для минимизации суммарного времени вращения образца 501 керна и облегчения сбора данных изображения, которые могут быть проанализированы для выявления зависящих от времени эффектов, углы сбора трехмерных данных распределяют вокруг оси вращения, что может включать в себя использование алгоритма упорядоченного золотого сечения. Алгоритм упорядоченного золотого сечения является модификацией сканирования по методу золотого сечения, которое хорошо известно специалистам в данной области техники. Кроме того, помещенные в пределы этих углов данные изображения, полученные при единственном ключевом угле, можно анализировать для показа двумерных изменений быстрее, чем при сборе трехмерных данных. В определенной конфигурации образцы керна могут быть цилиндрическими образцами породы, которые имеют внешний диаметр от 1 дюйма (2,54 см) до 1,5 дюймов (3,81 см) и длину от 1 дюйма (2,54 см) до 2 дюймов (5,08 см), но могут использоваться образцы керна, имеющие любые размеры.

[092] Еще один пример конфигурации системы визуализации показан на фиг. 6. На фиг. 6 представлено схематичное изображение 600 системы ЯМР-визуализации. Система ЯМР-визуализации может включать в себя находящийся под давлением держатель 602 керна, источник 604 ядерного магнитного резонанса, детектор 606 ядерного магнитного резонанса, бак 610 для добытого флюида и бак 608 для заводняющего флюида. В этой системе ЯМР-визуализации образец 601 керна, такой как цилиндрический образец породы, может быть помещен в находящийся под давлением держатель 602 керна с кожухом 603, окружающим образец 601, для изолирования порового пространства породы от окружающих,

находящихся под давлением флюидов 620 и 621. Образец керна может быть цилиндрическим образцом породы, который имеет внешний диаметр от 1 дюйма (2,54 см) до 1,5 дюймов (3,81 см) и длину от 1 дюйма (2,54 см) до 2 дюймов (5,08 см), или же он может иметь диаметр меньше чем 4 дюйма (10,16 см). На верхнем и нижнем концах образца 601 керна трубопроводы, такие как трубопровод 605 визуализирующего флюида и трубопровод 607 заводняющего флюида, обеспечивают доступ заводняющему флюиду из бака 608 для заводняющего флюида и добытому флюиду из бака 610 для добытого флюида, соответственно. Например, трубопровод 605 добытого флюида может создавать путь потоку между образцом керна и баком 610 для добытого флюида. Трубопровод 605 добытого флюида может включать в себя одну или несколько труб и клапаны, которые используются для регулирования потока флюида. Например, добытый флюид может храниться в баке 610 для добытого флюида и может отводиться от образца 601 керна при использовании гидравлического привода 625 (например, конфигурации из двигателя, клапана и поршня). Кроме того, трубопровод 605 добытого флюида может включать в себя датчик 623 добытого флюида, который осуществляет мониторинг расхода, давления или температуры флюидов в трубопроводе 605 добытого флюида. Согласно другому примеру трубопровод 607 заводняющего флюида может создавать путь потоку между образцом 601 керна и баком 608 для заводняющего флюида. Заводняющий флюид может храниться в баке 608 для заводняющего флюида и может проходить к образцу 601 керна при использовании гидравлического привода 626 (например, конфигурации из двигателя, клапана и поршня). Кроме того, трубопровод 607 заводняющего флюида может включать в себя датчик 624 заводняющего флюида для мониторинга потока, расхода или температуры флюидов в трубопроводе 607 заводняющего флюида.

[093] Для получения результатов ЯМР-визуализации образца 601 керна в системе 600 ЯМР-визуализации могут использоваться источник 604 ядерного магнитного резонанса и детектор 606 ядерного магнитного резонанса. Например, образец 601 керна может быть расположен в находящемся под давлением держателе 602 керна, который может быть установлен в цилиндрическом канале источника 604 ядерного магнитного резонанса (например, магнита), при этом детектор 606 ядерного магнитного резонанса (например, детекторная катушка) окружен источником 604 ядерного магнитного резонанса. При работе в режиме визуализации может создаваться

магнитное поле, которое взаимодействует с образцом 601 керна. Различные радиочастотные импульсы напряжения вызывают реакцию образца, которая обеспечивает получение подробных данных относительно флюидного компонента. При использовании магнита сильного поля результирующие данные, полученные на основании образованных сигналов, могут быть использованы для проведения различия между нефтью и водой с помощью протонной спектроскопии. Окончательные результаты ЯМР-визуализации могут быть использованы при специфическом анализе флюида, таком как определение содержания воды в сравнении с содержанием нефти, путем релаксометрии, показывающей содержание воды и нефти в порах, и картировании концентрации нефти и воды в образце керна. Кроме того, специфический анализ флюида в сочетании с заводняющим флюидом, может обеспечивать получение данных для определения характеристик извлечения нефти, которые связаны с поровой структурой.

[094] На фиг. 7А-7D представлены примеры изображений, полученных на основании результатов анализа данных КТ-визуализации. Изображения 702, 710, 720 и 730 могут быть использованы для обнаружения заполненных нефтью и/или водой пор в образце керна с визуализирующим газом или без него. На изображениях 702 и 710, показанных на фиг. 7А и 7С, визуализирующий газ не присутствует в образцах керна. На изображении 710 показано поперечное сечение типичного образца керна, имеющего цилиндрическую форму. На изображении 702 показан горизонтальный срез, полученный в результате трехмерной реконструкции типичного образца керна. На каждом из этих изображений 702 и 710 визуализирующий газ отсутствует и поры, такие как поры 704 и 712, являются более темными, чем другие участки образца керна. На изображениях 720 и 730, показанных на фиг. 7В и 7С, наблюдается эффект высокой растворимости визуализирующего газа в заполненных нефтью порах образцов керна. На изображении 730 показано поперечное сечение типичного образца керна, имеющего цилиндрическую форму. На изображении 720 показан горизонтальный срез, полученный в результате трехмерной реконструкции типичного образца керна. На этих изображениях 720 и 730 визуализирующий газ подсвечивает местоположения нефти, которые показаны как более светлые участки, такие как участки 722 и 732. Более светлые участки являются заполненными нефтью порами, тогда как серые или более темные участки, такие как

участки 724 и 734, являются порами, не заполненными нефтью, но они могут быть заполненными водой порами. Вследствие этого более темные участки не подсвечиваются визуализирующим газом. Численным анализом можно получать полное описание размеров пор и распределение как заполненных нефтью, так и заполненных водой пор.

[095] На фиг. 8А–8D представлены примеры изображений, полученных на основании результатов анализа данных КТ-визуализации. Изображения 802, 810, 820 и 830 могут использоваться для определения пространственного распределения нефти и/или соляного раствора во время заполнения заводнящим флюидом, который может быть соляным раствором. На фиг. 8А показано изображение 802 заполненного нефтью цилиндрического образца 804, при этом для подсвечивания заполненных нефтью пор подавался визуализирующий газ. На фиг. 8С представлено изображение 820, полученное в результате трехмерной реконструкции заполненного нефтью цилиндрического образца 804, имевшего очень равномерную структуру небольших пор. На этом изображении 820 результаты ЯМР-визуализации базируются на управляемой сегментации и получении прямого изображения распределения нефти по всему реконструированному модельному образцу 822. На изображении 810 из фиг. 8В показано влияние подачи заводнящего флюида от нижней части 814 цилиндрического образца, который содержит добытую нефть, к верхней части 816, следствием которой является градиент концентрации. На изображении 830 из фиг. 8D представлена трехмерная реконструкция распределения нефти по цилиндрическому образцу 812 после подачи 3,3 объемов порового пространства (ОПП) заводнящего флюида для взаимодействия с цилиндрическим образцом 812. Как видно на изображении 830, компонент нефти в реконструированном модельном образце 832 показан более светлым оттенком. Поэтому водный компонент занимает нижнюю часть реконструированного модельного образца 832.

[096] На фиг. 9А–9D представлены примеры изображений и диаграмм, полученных на основании результатов анализа данных ЯМР-визуализации. Из изображения 902 и диаграммы 910 на фиг. 9А и 9В следует, что протонная спектроскопия может использоваться для измерения содержания нефти и воды в образце керна. На изображении 902 из фиг. 9А представлено поперечное сечение типичного образца 904 керна, который включает в себя, например,

заполненные нефтью поры 906 и заполненные водой поры 908. На фиг. 9В диаграмма 910 представляет собой график для нефти и воды, полученный спектроскопией. На диаграмме 910 спектры для отклика 916 нефти и отклика 918 соляного раствора показаны по оси 914 сигнала 1H ядерного магнитного резонанса (ЯМР) в атомных единицах (ат. ед.) и оси 912 $\delta(^1\text{H})$ химического (хим.) сдвига в частях на миллион (млн.) в виде подобранных линий, которые используются для вычисления содержания каждого флюида в образце 904 керна. Кроме того, сумма двух откликов равна общей пористости при заполнении флюидом. На фиг. 9С и 9D представлены изображение 920 и диаграмма 930, на которых размеры пор оценены для сравнения с помощью релаксометрии. Релаксометрией конкретных флюидов выявлены два класса пор, которые могут быть крупными и мелкими. На изображении 920 из фиг. 9С представлено поперечное сечение типичного образца керна 922, который включает в себя, например, заполненные нефтью поры 924 и заполненные водой поры 926. На диаграмме 930 из фиг. 9D представлен график пор флюидов, определенных релаксометрией. На диаграмме 930 отклик 936 нефти и отклик 938 воды показаны по оси 934 сигнала 1H ЯМР в атомных единицах (ат. ед.) и оси 932 задержки t в миллисекундах (мс) при повторном фокусировании. Данные, нанесенные на график, подобраны в соответствии с уравнением, которое позволяет вычислять процентное содержание пор каждого размера. Данные, отображенные на этих фигурах, при объединении обеспечивают получение полного показателя содержания нефти и воды в образце и распределения флюидов в соответствии с видом пор.

[097] На фиг. 10А–10С представлены примеры изображения и диаграмм, полученных на основании результатов анализа данных ЯМР–визуализации. На изображении 102 из фиг. 10А, диаграмме 1010 на фиг. 10В и диаграмме 1030 из фиг. 10С показаны пространственные распределения нефти и/или соляного раствора во время заводнения соляным раствором, которые характеризуют содержание воды и нефти в образце 1004 керна после частичного заводнения снизу вверх, показанного стрелкой 1009. Изображение 1002 представляет собой поперечное сечение типичного образца 1004 керна, который включает в себя, например, заполненные нефтью поры 1006 и заполненные водой поры 1008. Диаграмма 1010 представляет собой график измеренных способом ядерного магнитного резонанса одномерных профилей концентрации нефти и соляного раствора по образцу 1004 керна. На диаграмме 1010

отклик 1016 нефти и отклик 1018 соляного раствора показаны по оси 1014 высоты образца в миллиметрах (мм) и оси 1012 заполненных пор в процентах по объему (об.%). На диаграмме 1010 особенности профиля, зависящие от поровой структуры и процесса выделения при увеличении количества заводняющего флюида, определяют эффективность извлечения нефти. Такие данные образуют при анализе данных ядерного магнитного резонанса. На диаграмме 1030 показаны выделение нефти и насыщение соляного раствора во время заводнения соляным раствором. На диаграмме 1030 показаны измеренные содержания нефти и соляного раствора в образце 1004 керна в различные моменты времени заводнения соляным раствором. На диаграмме 1030 отклик 1036 нефти и отклик 1038 соляного раствора показаны по оси 1034 химического (хим.) сдвига в частях на миллион (млн.) и оси 1032 времени заводнения в секундах. На этой диаграмме 1030 нефть медленно извлекается во время заводнения соляным раствором, и это показывает, что другой заводняющий флюид может обеспечить дополнительное стимулирование добычи нефти.

[098] Предложенные технические решения включают в себя способ и систему, которыми обеспечивается механизм повышения качества моделирования геологической среды и имитации подземной области. Эти моделирование и имитация могут быть полезными при определении наличия, распределения, характеристик и свойств потока в геологической среде при использовании многочисленных способов визуализации, одного или нескольких способов визуализации с визуализирующим флюидом (например, визуализирующим газом, визуализирующей жидкостью и/или любым сочетанием из них) и/или одного или нескольких способов визуализации с заводняющим флюидом (например, заводняющим газом, заводняющей жидкостью и/или любым сочетанием из них).

[099] В некоторых конфигурациях предложенные технические решения могут включать в себя этапы усовершенствования работ с углеводородами. Например, предложенные технические решения могут включать в себя построение и/или обновление модели геологической среды; сообщение или придание свойств модели геологической среде для использования при моделировании, основанных на результатах визуализации; сравнение результатов моделирования с измеренными данными; и если при сравнении имеется приемлемое соответствие (например, ниже определенного порога), модель геологической среды считается согласованной с геологической интерпретацией,

тогда как, если сравнением не обеспечивается приемлемое соответствие, модель геологической среды может быть обновлена и моделирование повторено при использовании обновленных свойств и/или других элементов. Кроме того, модель геологической среды может быть одномерной (1М) моделью, двумерной (2М) моделью или трехмерной (3М) моделью.

[100] Специалисты в данной области техники должны без труда осознать, что при практических применениях раскрытой методологии она частично реализуется на компьютере, обычно на соответствующим образом запрограммированном компьютере. Кроме того, некоторые части подробного описания, которые логически следуют из него, представлены в терминах процедур, этапов, логических блоков, обработки и других символических представлений действий над битами данных в компьютерном запоминающем устройстве. Эти описания и представления являются средствами, используемыми специалистами в области обработки данных для наиболее эффективной передачи сущности их работы другим специалистам. В представленной заявке процедуру, этап, логический блок, процесс и т.п. следует воспринимать как самосогласованную последовательность этапов или инструкций, приводящих к требуемому результату. Этапы представляют собой необходимые физические манипуляции с физическими величинами. Обычно, хотя и необязательно, эти величины имеют вид электрических или магнитных сигналов, которые можно сохранять, передавать, объединять, сравнивать или иным образом преобразовывать в компьютерной системе.

[101] Однако следует помнить, что все эти и подобные термины связаны с соответствующими физическими величинами и представляют собой всего лишь удобные обозначения, применяемые к этим величинам. Если иное специально не оговорено, то следует принимать во внимание, что на всем протяжении представленной заявки рассмотрение с использованием терминов, таких как «обработка» или «вычисление», «расчет», «сравнение», «определение», «отображение», «копирование», «изготовление», «сохранение», «добавление», «применение», «выполнение», «поддержание», «обновление», «создание», «построение», «образование» и т.п., относится к действию и процессам в компьютерной системе или аналогичном электронном вычислительном устройстве, которое обрабатывает и преобразовывает данные, представленные в виде физических (электронных) величин в

регистрах и запоминающих устройствах компьютерной системы, в другие данные, аналогичным образом представляемые в виде физических величин в запоминающих устройствах или регистрах компьютерной системы или в других таких устройствах хранения, передачи или отображения информации.

[102] Кроме того, варианты осуществления предложенных технических решений относятся к устройству для выполнения операций, представленных в этой заявке. Это устройство может быть специально разработанным для решения нужных задач или оно может содержать компьютер общего назначения, избирательно активируемый или конфигурируемый с помощью компьютерной программы, сохраняемой в компьютере (например, с помощью одного или нескольких наборов инструкций). Такая компьютерная программа может храниться на считываемом компьютером носителе. Считываемый компьютером носитель включает в себя любой механизм для хранения или передачи информации в виде, в котором она может считываться машиной (например, компьютером). Например, считываемый компьютером (например, машиночитаемый) носитель включает в себя, но без ограничения им, считываемый машиной (например, компьютером) носитель данных (например, постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), носитель данных на магнитном диске, оптический носитель данных, устройства флэш-памяти и т.д.) и считываемую машиной (например, компьютером) среду передачи (распространяемые электрические, оптические, акустические или иного вида сигналы (например, несущие волны, инфракрасные сигналы, цифровые сигналы и т.д.)).

[103] Кроме того, как должно быть понятно специалисту в данной области техники, модули, признаки, атрибуты, методологии и другие аспекты изобретения могут быть реализованы в виде программного обеспечения, аппаратного обеспечения, аппаратно-программного обеспечения или любого сочетания из трех. Конечно, когда компонент настоящего изобретения реализуется как программное обеспечение, компонент может быть реализован как самостоятельная программа, как часть более крупной программы, как множество отдельных программ, как статически или динамически связанная библиотека, как загружаемый модуль ядра, как драйвер устройства и/или в виде всех и любого другого средства, известного в настоящее время или которое станет известным в будущем специалистам в области компьютерного программирования. Кроме того, настоящее изобретение никак не ограничено

реализацией любой конкретной операционной системы или операционной среды.

[104] Для примера на фиг. 11 представлена структурная схема компьютерной системы 1100, которая может быть использована для выполнения любого из способов, раскрытых в этой заявке. Центральный процессор (ЦП) 1102 соединен с системной шиной 1104. Центральный процессор 1102 может быть любым центральным процессором общего назначения, хотя архитектуры других видов центрального процессора 1102 (или другие компоненты приведенной для примера системы 1100) могут быть использованы при условии, что центральный процессор 1102 (и другие компоненты системы 1100) поддерживают предложенные технические решения, описанные в этой заявке. Центральный процессор 1102 может исполнять различные логические инструкции согласно раскрытым аспектам и методологиям. Например, центральный процессор 1102 может исполнять инструкции машинного уровня при выполнении обработки согласно аспектам и методологиям, раскрытым в этой заявке.

[105] Кроме того, компьютерная система 1100 может включать в себя компоненты компьютера, такие как оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) 1106, которое может быть статическим оперативным запоминающим устройством, динамическим оперативным запоминающим устройством, синхронным динамическим оперативным запоминающим устройством или подобным. Компьютерная система 1100 может также включать в себя постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) 1108, которое может быть программируемым постоянным запоминающим устройством, стираемым постоянным запоминающим устройством, электронно-перепрограммируемым постоянным запоминающим устройством или подобным. Как известно в данной области техники, в оперативном запоминающем устройстве 1106 и постоянном запоминающем устройстве 1108 сохраняются данные пользователя и системные и программные данные. Кроме того, компьютерная система 1100 может включать в себя адаптер 1110 ввода-вывода (В-В), связной адаптер 1122, адаптер 1124 интерфейса пользователя и адаптер 1118 дисплея. Согласно некоторым аспектам и техническим решениям адаптер 1110 ввода-вывода, адаптер 1124 интерфейса пользователя и/или связной адаптер 1122 позволяют пользователю взаимодействовать с компьютерной системой 1100 для ввода информации.

[106] Предпочтительно, чтобы адаптер 1110 ввода-вывода соединял устройство (устройства) 1112 хранения данных, такое как

один или несколько из жесткого диска, компакт-диска (КД), дискеты, накопителя на магнитной ленте и т.д., с компьютерной системой 1100. Устройство (устройства) хранения данных может использоваться, когда объема оперативного запоминающего устройства 1106 недостаточно для удовлетворения требований, связанных с сохранением данных, необходимых для выполнения операций согласно вариантам осуществления предложенных технических решений. Устройство хранения данных компьютерной системы 1100 может использоваться для хранения информации и/или других используемых или образуемых данных, раскрытых в этой заявке. Связной адаптер 1122 может связывать компьютерную систему 1100 с сетью (непоказанной), из которой информация может вводиться в систему 1100 или выводиться из нее в сеть (например, в глобальную сеть, локальную сеть, беспроводную сеть, любое сочетание из упомянутых). Адаптер 1124 интерфейса пользователя соединяет устройства ввода пользователя, такие как клавиатура 1128, указывающее устройство 1126 и т.п., с компьютерной системой 1100. Адаптер 1118 дисплея приводится в действие центральным процессором 1102, для управления с помощью драйвера 1116 дисплея отображением на дисплейном устройстве 1120, и он также может быть соединен с графическим процессором (ГП) 1114.

[107] По желанию архитектуру системы 1100 можно изменять. Например, можно использовать любое, основанное на процессоре устройство, включая, но без ограничения ими, персональные компьютеры, ноутбуки, компьютерные рабочие станции и многопроцессорные серверы. Кроме того, варианты осуществления могут быть реализованы на интегральных схемах прикладной ориентации (ИСПО) или сверхбольших интегральных схемах (СБИС). Фактически, специалисты в данной области техники могут использовать любое количество подходящих структур, способных выполнять логические операции согласно вариантам осуществления.

[108] Как можно понять, способ может быть реализован с помощью машиночитаемой логики, такой как набор инструкций или код, при выполнении которого процессором, исполняются инструкции или выполняются операции из запоминающего устройства. Например, выше описана система для построения модели геологической среды, имеющей один или несколько объектов, связанных с подземной областью. Система содержит процессор, устройство ввода, соединенное с процессором и выполненное с возможностью приема входных данных, связанных с подземной областью, и запоминающее

устройство в соединении с процессором. Запоминающее устройство содержит набор инструкций, при этом набор инструкций выполнен с возможностью обеспечения, при исполнении процессором, изолирования образца керна, связанного с подземной областью, в системе визуализации, воздействия на образец керна заводнящим флюидом, получения результатов визуализации путем выполнения способа визуализации образца, при этом визуализирующий флюид присутствует в образце керна во время выполнения способов визуализации, и вывода результатов визуализации.

[109] Согласно другим конфигурациям система может включать в себя различные усовершенствования. Например, набор инструкций может быть выполнен с возможностью обеспечения, при исполнении процессором, определения флюида, извлекаемого из образца керна, на основании результатов визуализации; может быть кроме того выполнен с возможностью обеспечения определения распределения нефти, воды или любого сочетания из них на основании результатов визуализации; может быть кроме того выполнен с возможностью обеспечения определения количества пор в образце керна, распределения пор в образце керна, содержания пор на основании результатов визуализации; может быть кроме того выполнен с возможностью обеспечения воздействия заводнящим флюидом на образец керна одновременно с выполнением визуализации образца керна; может быть кроме того выполнен с возможностью обеспечения выполнения моделирования потока на основании одного из результатов визуализации; и/или может быть кроме того выполнен с возможностью обеспечения представления оповещения, связанного с работой с углеводородами, на основании одного из результатов визуализации, результатов моделирования и любого сочетания из них. Набор инструкций может быть выполнен с возможностью обеспечения, при исполнении процессором, выполнения второй визуализации образца керна, воздействия вторым заводнящим флюидом на образец керна одновременно с выполнением второй визуализации образца керна и сравнения результатов визуализации при заводнящем флюиде и втором заводнящем флюиде для определения более эффективного повышающего добычу флюида.

[110] Следует понимать, что предшествующее является подробным описанием только определенных вариантов осуществления и что многочисленные изменения, модификации и альтернативы раскрытых вариантов осуществления могут быть сделаны в соответствии с раскрытием, приведенным в этой заявке, без

отступления от объема изобретения. Поэтому предшествующее описание не означает ограничения объема изобретения. Точнее, объем изобретения определяется только прилагаемой формулой изобретения и эквивалентами ее. Кроме того, предполагается, что структуры и признаки, реализованные в представленных примерах, могут быть изменены, перегруппированы, заменены, исключены, повторены, объединены или добавлены друг к другу. Однако специалисту в данной области техники должно быть понятно, что возможны многочисленные модификации и изменения к вариантам осуществления, описанным в этой заявке. Все такие модификации и изменения предполагаются находящимися в объеме настоящего изобретения, определяемом прилагаемой формулой изобретения.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ образования и использования результатов визуализации при работах с углеводородами, содержащий этапы, на которых:

получают образец керна, связанный с подземной областью;

воздействуют на образец керна визуализирующим флюидом;

получают результаты визуализации путем выполнения способа визуализации образца керна, при этом визуализирующий флюид присутствует в образце керна во время выполнения способов визуализации; и

выводят результаты визуализации.

2. Способ по п. 1, в котором способом визуализации является ядерная магнитно-резонансная (ЯМР) визуализация образца керна.

3. Способ по п. 1, в котором способом визуализации является компьютерная томографическая (КТ) визуализация образца керна.

4. Способ по любому одному из п.п. 1-3, кроме того содержащий получение дополнительных результатов визуализации путем выполнения второго способа визуализации образца керна, при этом визуализирующий флюид присутствует в образце керна во время выполнения вторых способов визуализации.

5. Способ по любому одному из п.п. 1-4, в котором визуализирующий флюид обладает избирательностью к углеводородам относительно воды больше 1,1.

6. Способ по любому одному из п.п. 1-4, в котором визуализирующий флюид обладает избирательностью к углеводородам относительно воды больше 5.

7. Способ по любому одному из п.п. 1-6, в котором визуализирующий флюид содержит газообразный ксенон.

8. Способ по п. 7, в котором визуализирующий флюид содержит 50 об.% или больше газообразного ксенона исходя из всего объема визуализирующего флюида.

9. Способ по п. 7, в котором визуализирующий флюид содержит 70 об.% или больше газообразного ксенона исходя из всего объема визуализирующего флюида.

10. Способ по любому одному из п.п. 1-9, в котором визуализирующий флюид содержит газообразный криптон.

11. Способ по п. 10, в котором визуализирующий флюид содержит 50 об.% или больше газообразного криптона исходя из всего объема визуализирующего флюида.

12. Способ по п. 10, в котором визуализирующий флюид

содержит 70 об. % или больше газообразного криптона исходя из всего объема визуализирующего флюида.

13. Способ по любому одному из п.п. 1-12, кроме того содержащий определение извлекаемого из образца керна флюида на основании результатов визуализации.

14. Способ по любому одному из п.п. 1-13, кроме того содержащий определение распределения нефти, воды или любого сочетания из них на основании результатов визуализации.

15. Способ по любому одному из п.п. 1-14, кроме того содержащий определение одного или нескольких из количества пор в образце керна, распределения пор в образце керна и содержания пор на основании результатов визуализации.

16. Способ по любому одному из п.п. 1-15, кроме того содержащий воздействие заводняющим флюидом на образец керна одновременно с выполнением способа визуализации образца керна.

17. Способ по п. 16, в котором заводняющий флюид представляет собой воду.

18. Способ по п. 16, в котором заводняющий флюид является повышающим извлечение углеводородов флюидом.

19. Способ по любому одному из п.п. 1-18, кроме того содержащий бурение скважины для получения образца керна из подземной области.

20. Способ по любому одному из п.п. 1-19, кроме того содержащий выполнение моделирования потока на основании одного из результатов визуализации.

21. Способ по п. 20, кроме того содержащий выполнение работы с углеводородами на основании одного из результатов визуализации, результатов моделирования и любого сочетания из них.

22. Система визуализации, содержащая:

блок образца керна, содержащий корпус и множество клапанов, в которой корпус образует внутреннюю область, выполненную с возможностью удержания образца керна, и изолирует внутреннюю область от внешних условий, и в которой множество клапанов выполнены с возможностью обеспечения путей потока флюида между внутренней областью и внешними местами по отношению к внутренней области;

блок визуализирующего флюида в сообщении по текучей среде с блоком образца керна и выполненный с возможностью воздействия на образец керна визуализирующим флюидом; при этом система

визуализации выполнена с возможностью образования результатов визуализации образца керна в блоке образца керна и сохранения результатов визуализации в запоминающем устройстве; и

монитор, выполненный с возможностью отображения результатов визуализации.

23. Система по п. 22, в которой блок визуализирующего флюида содержит один или несколько резервуаров, одну или несколько труб и один или несколько клапанов, которые соединены друг с другом и выполнены с возможностью подачи визуализирующего флюида, имеющего определенный состав.

24. Система по любому одному из п.п. 22-23, где система содержит систему ядерной магнитно-резонансной (ЯМР) визуализации, выполненную с возможностью образования результатов ЯМР-визуализации образца керна в блоке образца керна.

25. Система по любому одному из п.п. 22-23, в которой система визуализации содержит систему компьютерной томографической (КТ) визуализации, выполненную с возможностью образования результатов КТ-визуализации образца керна в блоке образца керна.

26. Система визуализации по любому одному из п.п. 22-25, кроме того содержащая систему управления, выполненную с возможностью соединения с системой визуализации и управления регистрацией результатов визуализации.

27. Система визуализации по п. 26, в которой система управления кроме того выполнена с возможностью регулирования условий давления, температурных условий или любого сочетания из них, воздействию которых образец керна подвергается во время образования результатов визуализации.

28. Система визуализации по п. 27, кроме того содержащая: нагревательный блок, связанный с блоком образца керна, при этом нагревательный блок выполнен с возможностью соединения с блоком управления и регулирования температуры в блоке образца керна; и

датчик температуры, связанный с нагревательным блоком, блоком образца керна или любым сочетанием из них, при этом датчик температуры выполнен с возможностью измерения данных о температуре в блоке образца керна и передачи данных о температуре к блоку управления, нагревательному блоку или любому сочетанию из них.

29. Система визуализации по любому одному из п.п. 27-28,

кроме того содержащая:

блок давления, связанный с блоком образца керна, при этом блок давления выполнен с возможностью соединения с блоком управления и регулирования давления в блоке образца керна; и

датчик давления, связанный с блоком давления, блоком образца керна или любым сочетанием из них, при этом датчик давления выполнен с возможностью измерения данных о давлении в блоке образца керна и передачи данных о давлении к блоку управления, блоку давления или любому сочетанию из них.

30. Система визуализации по любому одному из п.п. 27–29, кроме того содержащая блок заводнящего флюида в сообщении по текучей среде с блоком образца керна, при этом блок заводнящего флюида выполнен с возможностью воздействия на образец керна заводнящим флюидом.

31. Система визуализации по п. 30, в которой блок заводнящего флюида выполнен с возможностью соединения с блоком управления и управления потоком заводнящего флюида во внутреннюю область блока образца керна.

32. Система для образования результатов визуализации образца керна, связанного с подземной областью, содержащая:

процессор;

устройство ввода в соединении с процессором и выполненное с возможностью приема входных данных, связанных с подземной областью;

запоминающее устройство в соединении с процессором, при этом запоминающее устройство содержит набор инструкций, и этот набор инструкций выполнен с возможностью обеспечения, при исполнении процессором, изолирования образца керна, связанного с подземной областью, в системе визуализации; воздействия на образец керна визуализирующим флюидом; получения результатов визуализации путем выполнения способа визуализации образца керна, при этом визуализирующий флюид присутствует в образце керна во время выполнения способов визуализации; и вывода результатов визуализации.

33. Система по п. 32, в которой набор инструкций кроме того выполнен с возможностью обеспечения, при исполнении процессором, определения флюида, извлекаемого из образца керна, на основании результатов визуализации.

34. Система по любому одному из п.п. 32 и 33, в которой набор инструкций кроме того выполнен с возможностью обеспечения,

при исполнении процессором, определения распределения нефти, воды или любого сочетания из них на основании результатов визуализации.

35. Система по любому одному из п.п. 32–34, в которой набор инструкций кроме того выполнен с возможностью обеспечения, при исполнении процессором, определения количества пор в образце керна, распределения пор в образце керна, содержания пор на основании результатов визуализации.

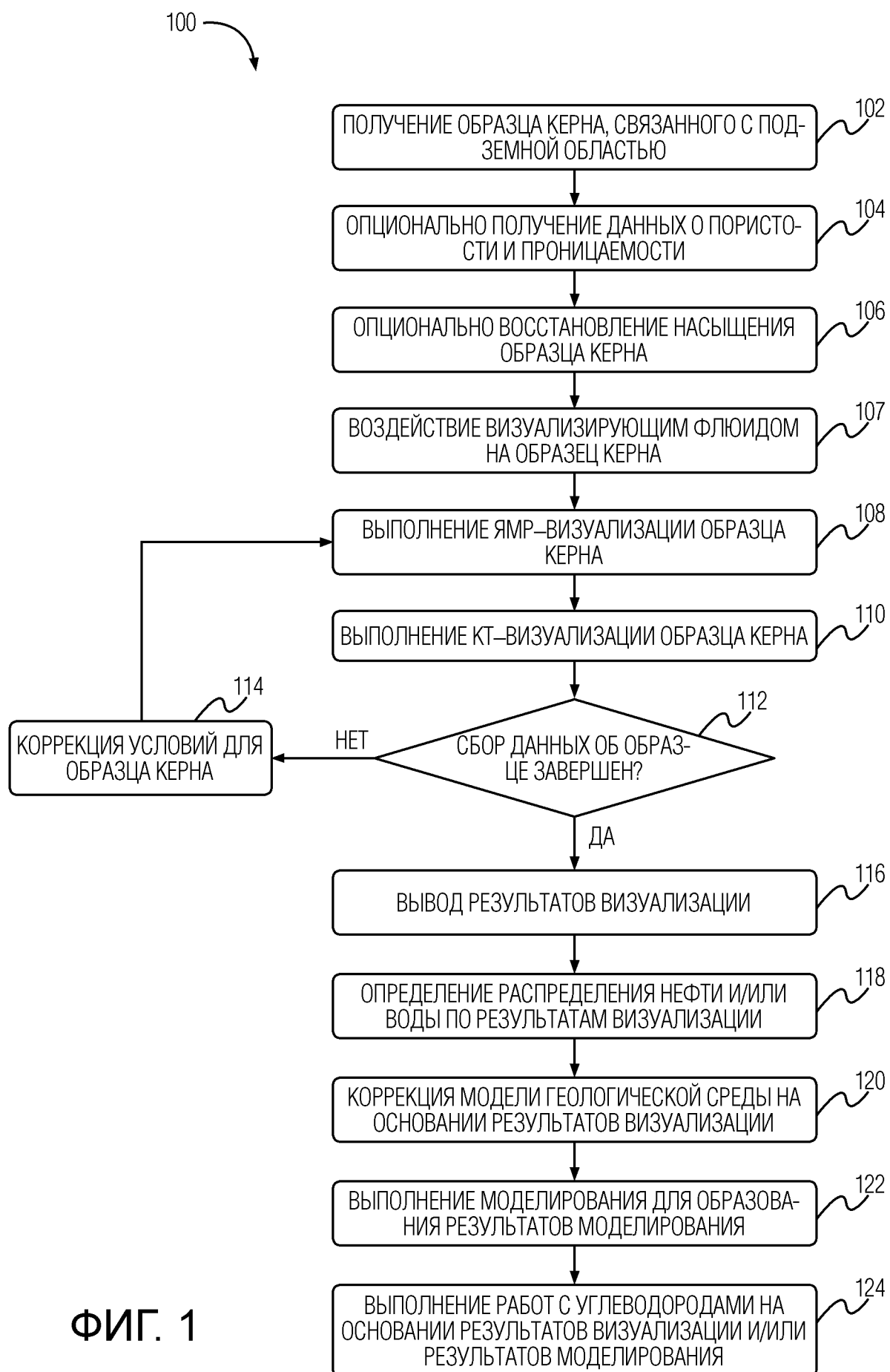
36. Система по любому одному из п.п. 32–35, в которой набор инструкций кроме того выполнен с возможностью обеспечения, при исполнении процессором, воздействия заводняющим флюидом на образец керна одновременно с выполнением визуализации образца керна.

37. Система по любому одному из п.п. 32–36, в которой набор инструкций кроме того выполнен с возможностью обеспечения, при исполнении процессором, выполнения второй визуализации образца керна; воздействия вторым заводняющим флюидом на образец керна одновременно с выполнением второй визуализации образца керна; и сравнения результатов визуализации при заводняющем флюиде и втором заводняющем флюиде для определения более эффективного повышающего извлечение углеводородов флюида.

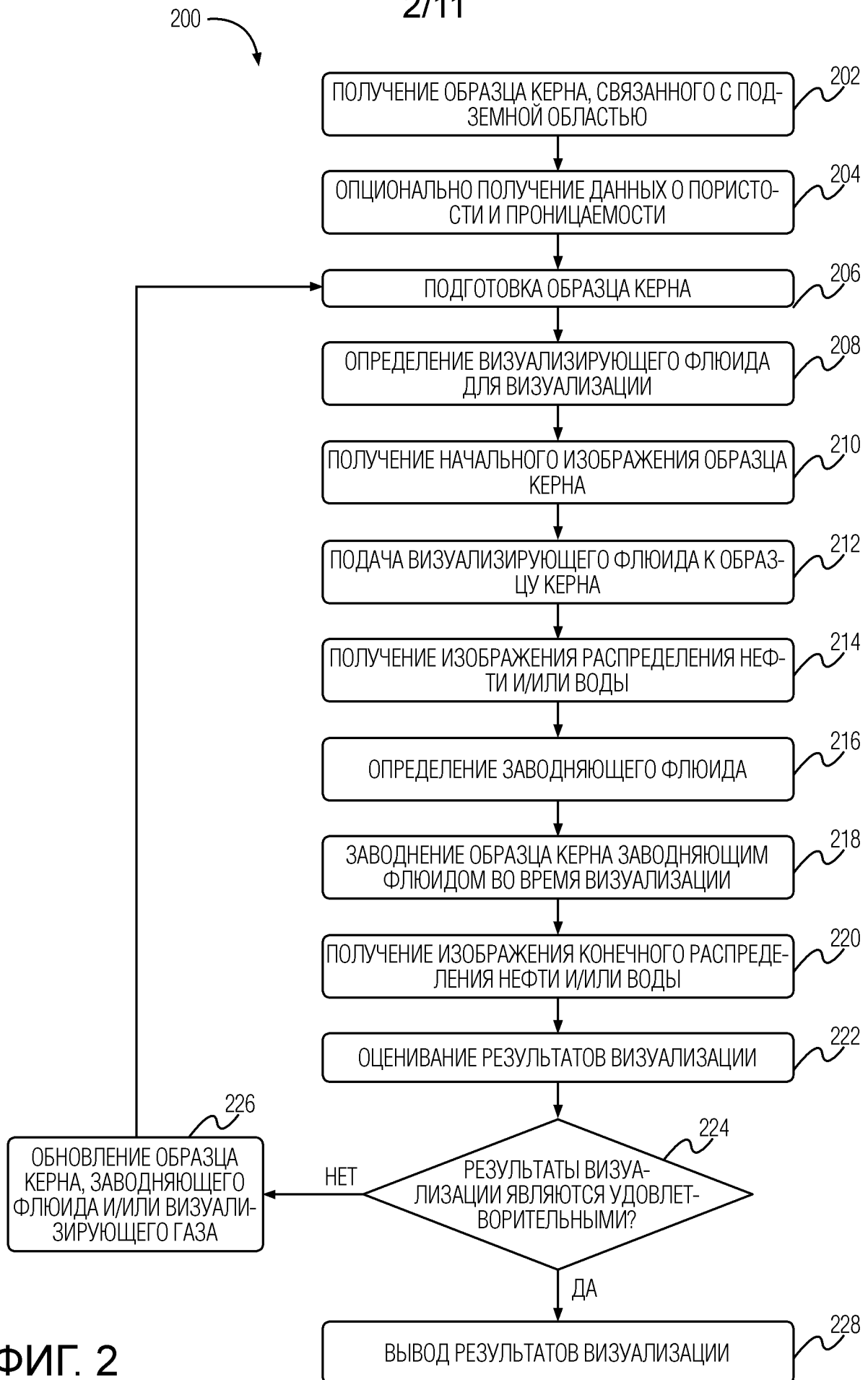
38. Система по любому одному из п.п. 32–37, в которой набор инструкций кроме того выполнен с возможностью обеспечения, при исполнении процессором, выполнения моделирования потока на основании одного из результатов визуализации.

39. Система по п. 38, в которой набор инструкций кроме того выполнен с возможностью обеспечения, при исполнении процессором, представления оповещения, связанного с работой с углеводородами, на основании одного из результатов визуализации и любого сочетания из них.

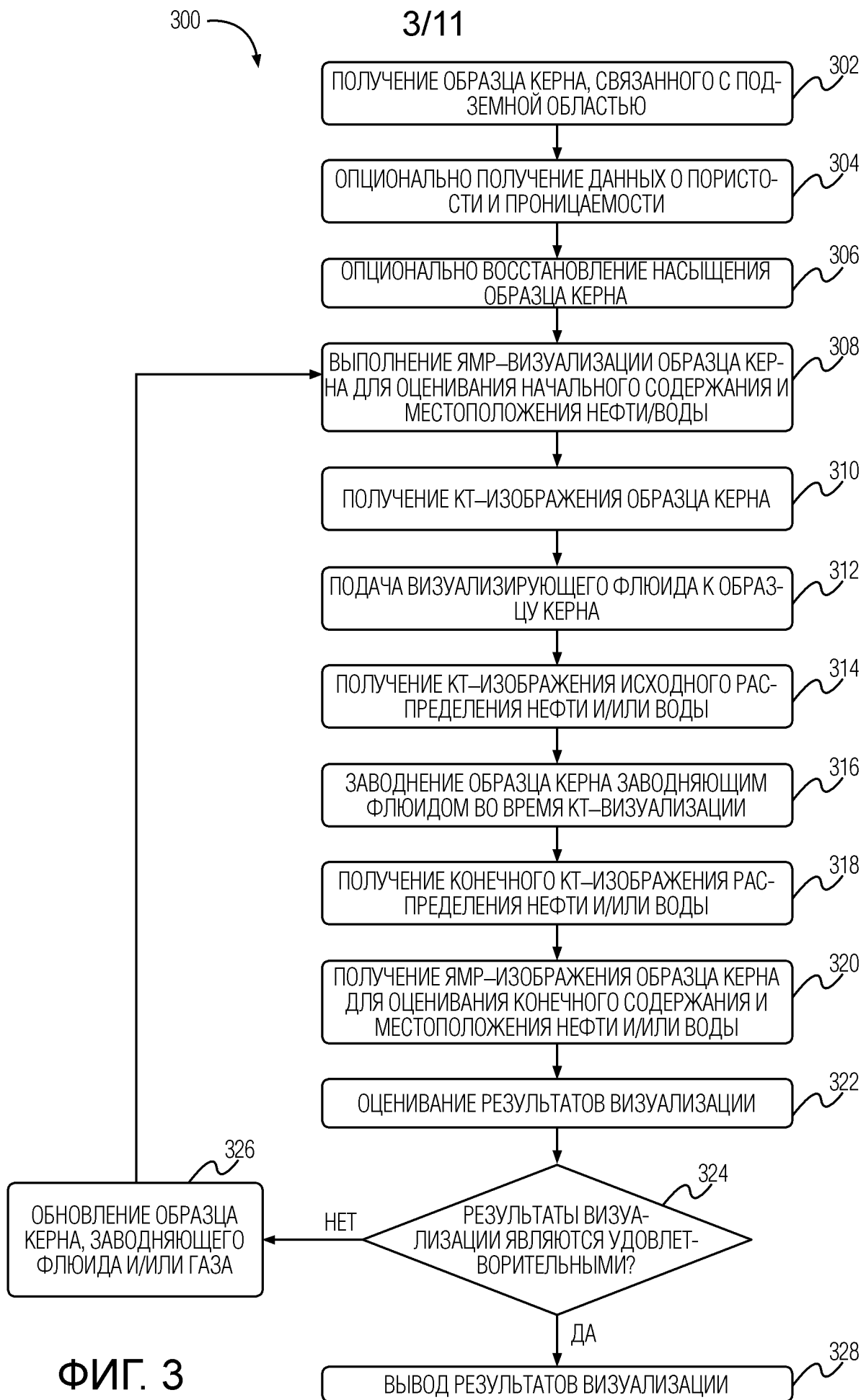
По доверенности



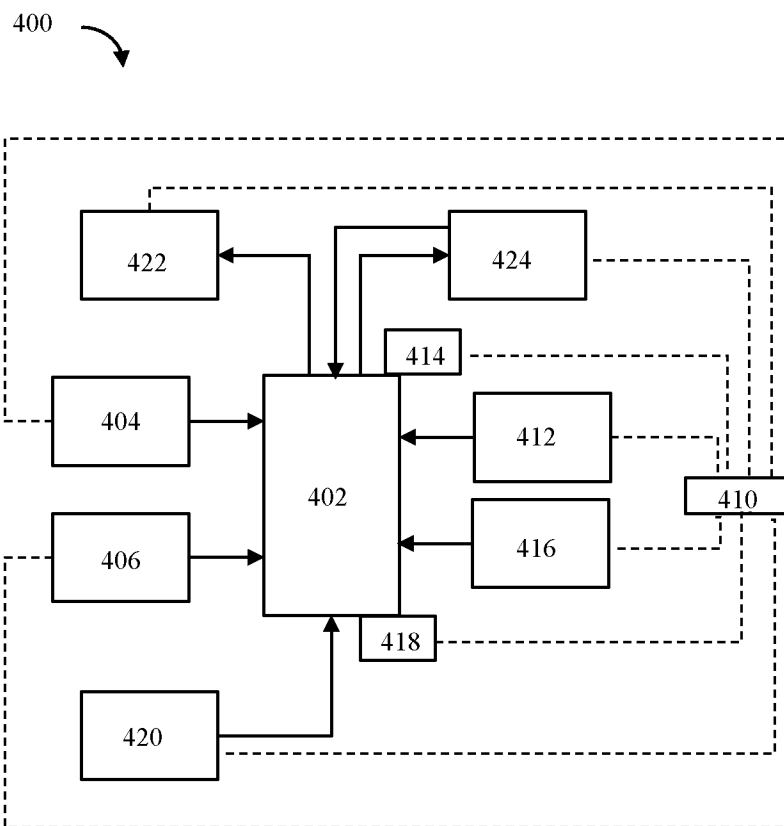
ФИГ. 1



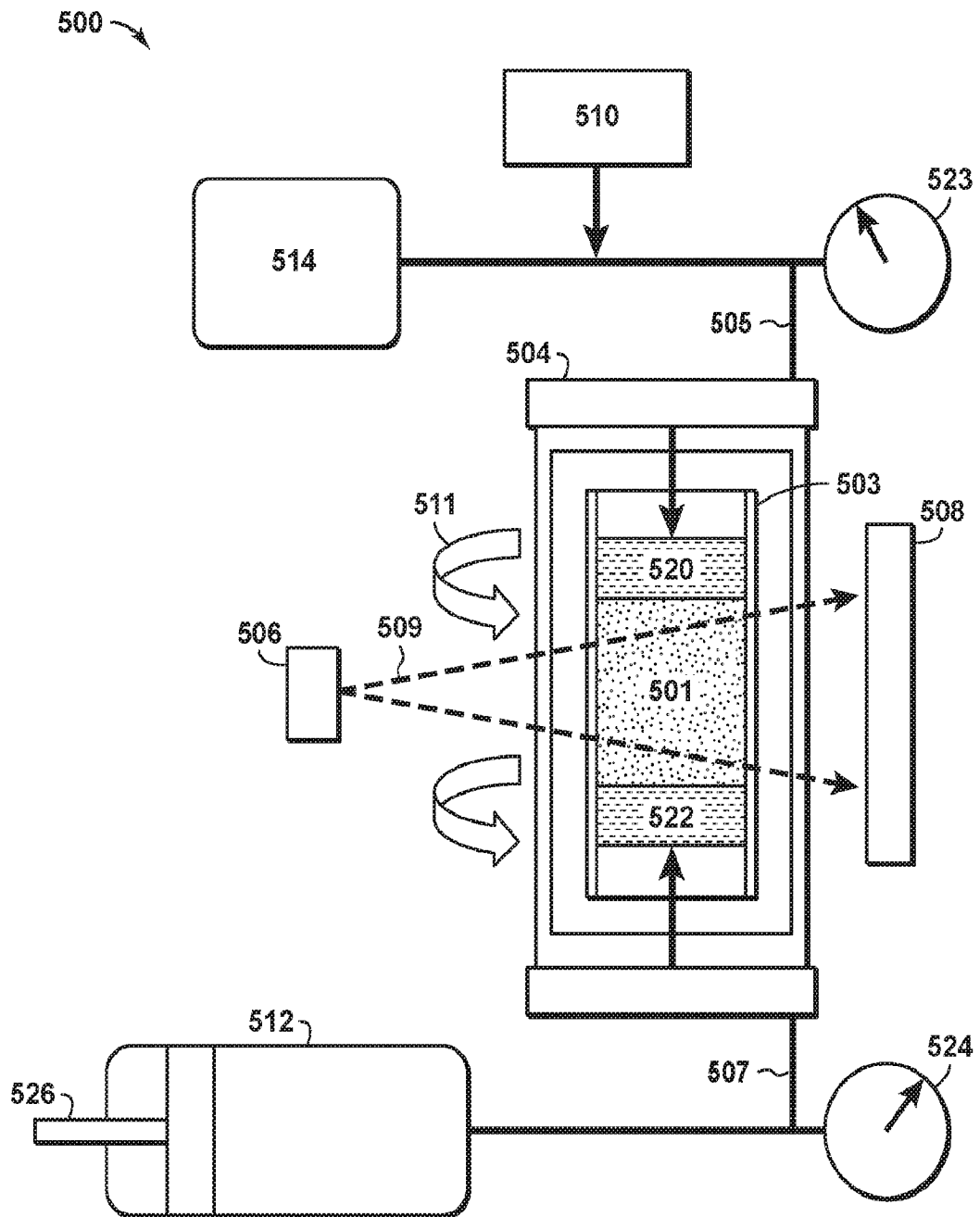
ФИГ. 2



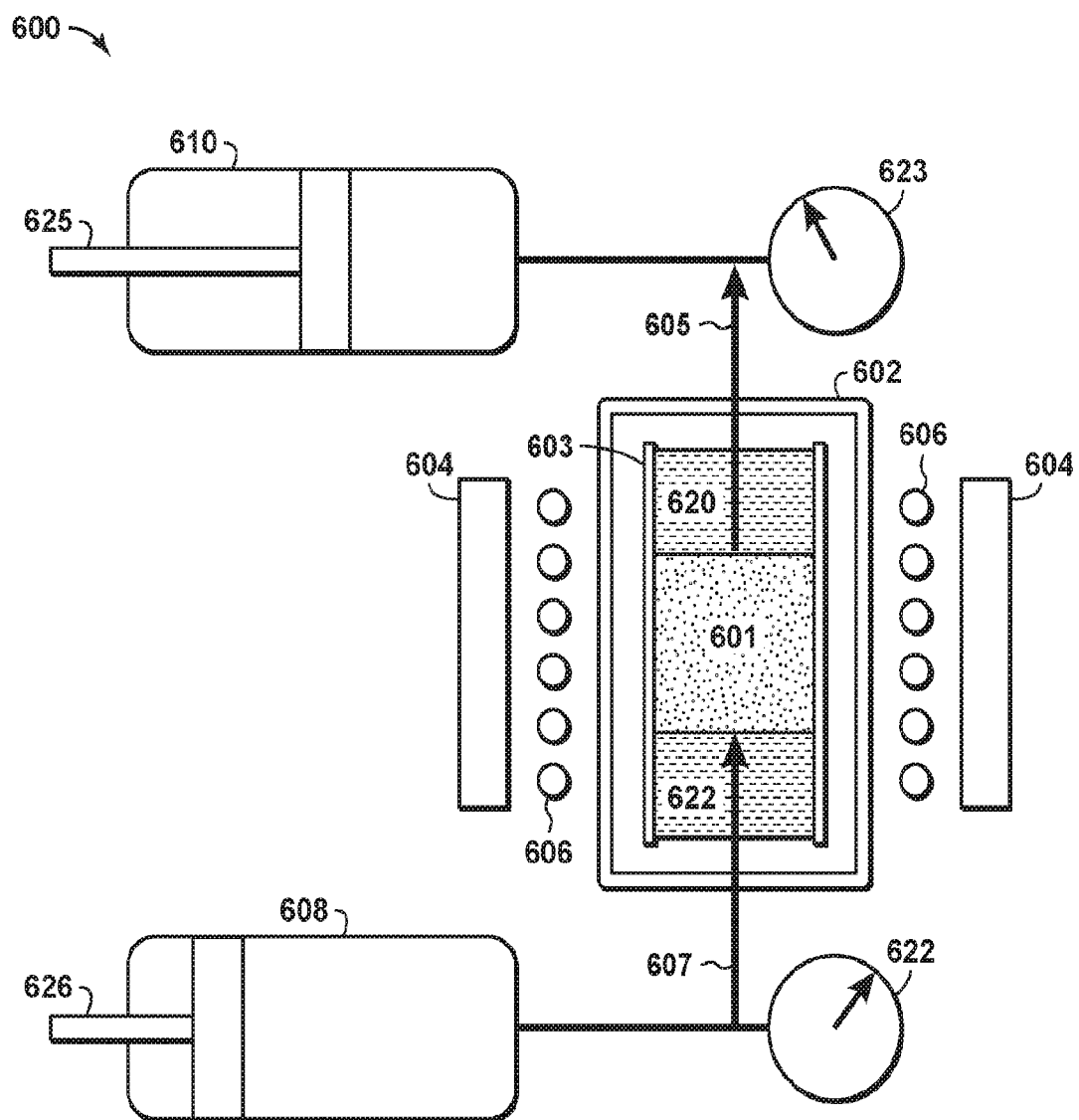
ФИГ. 3



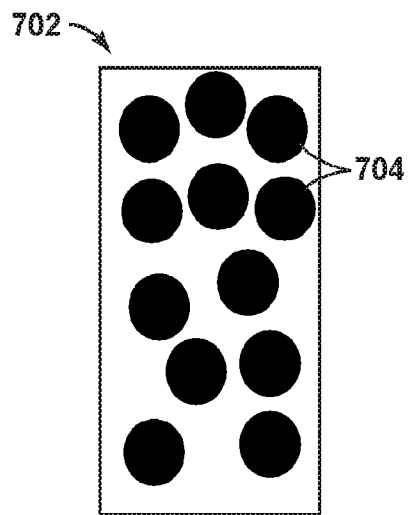
ФИГ. 4



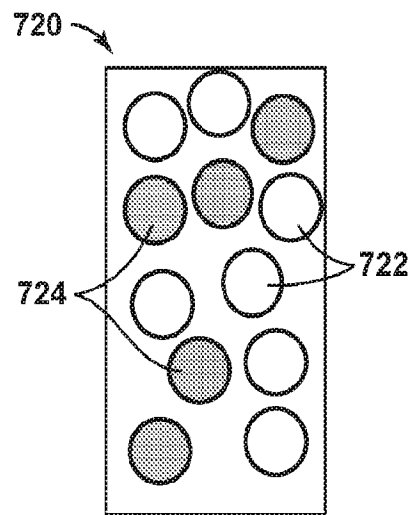
ФИГ. 5



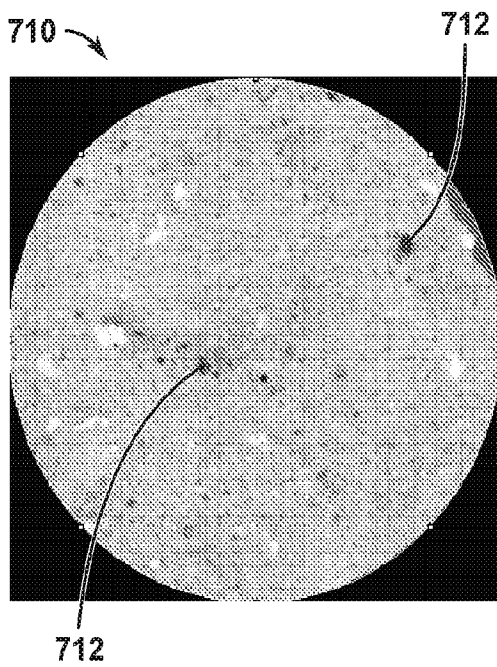
ФИГ. 6



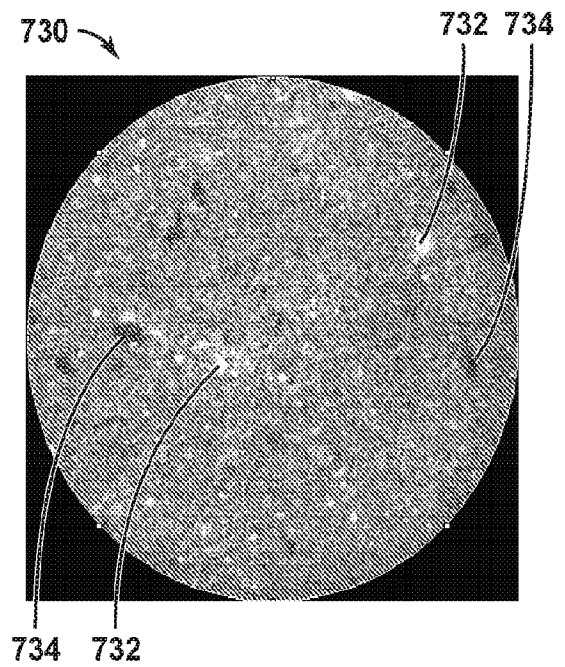
ФИГ. 7А



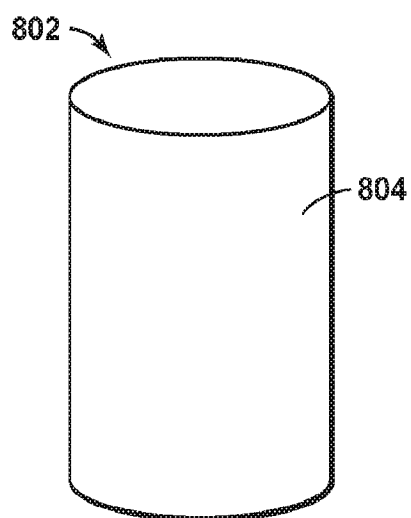
ФИГ. 7В



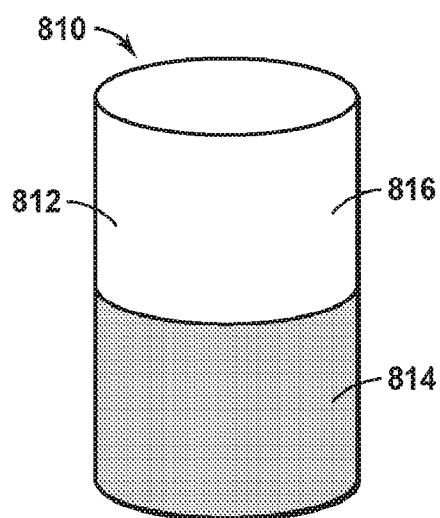
ФИГ. 7С



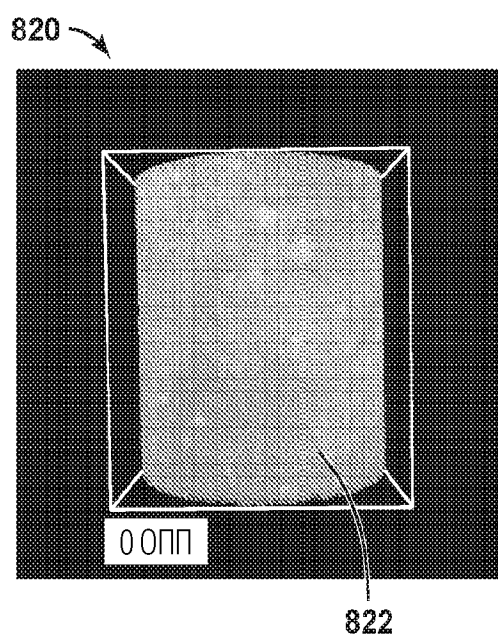
ФИГ. 7D



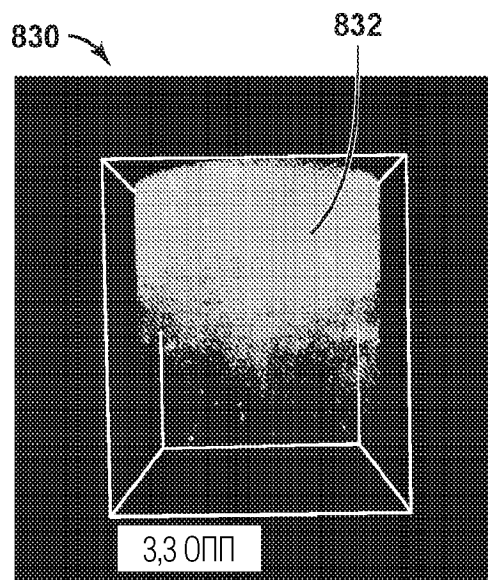
ФИГ. 8А



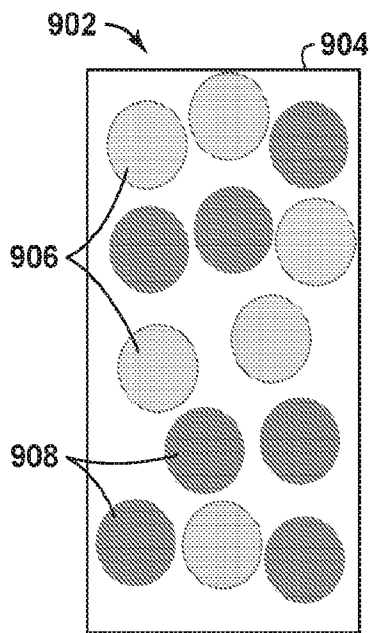
ФИГ. 8В



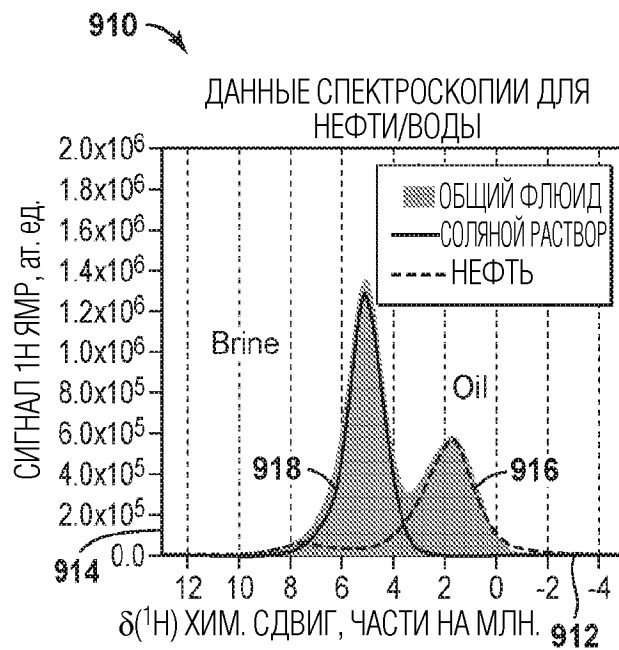
ФИГ. 8С



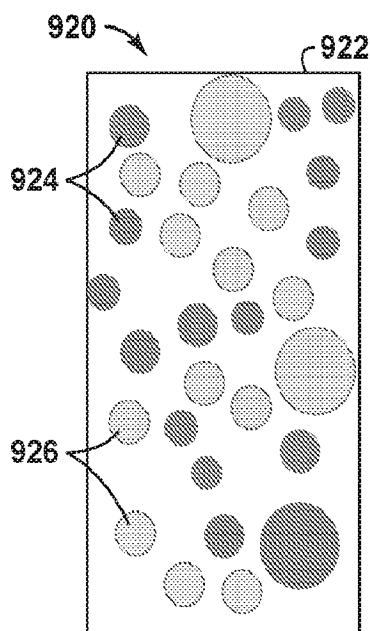
ФИГ. 8D



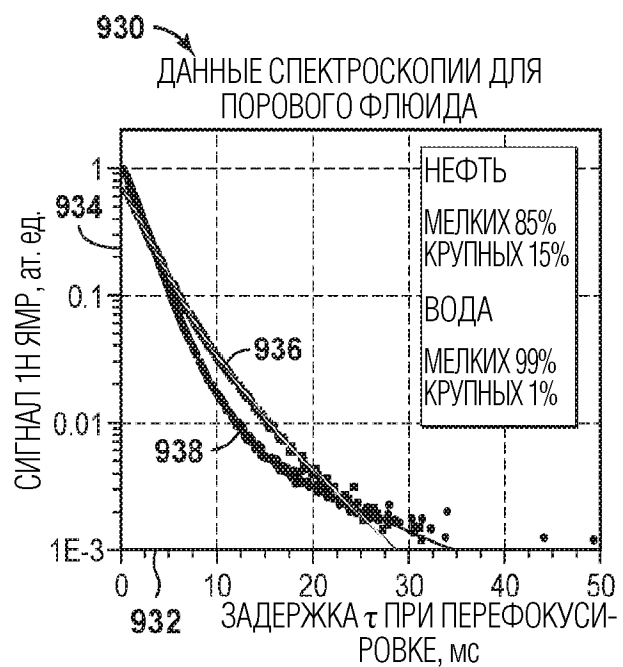
ФИГ. 9А



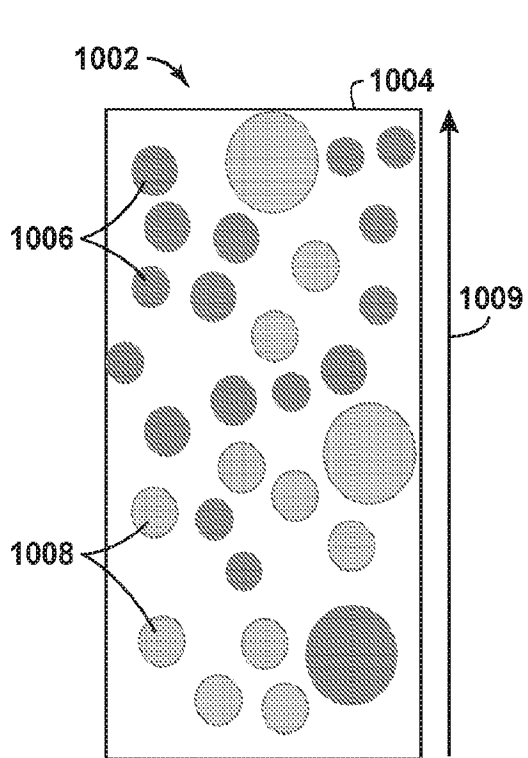
ФИГ. 9В



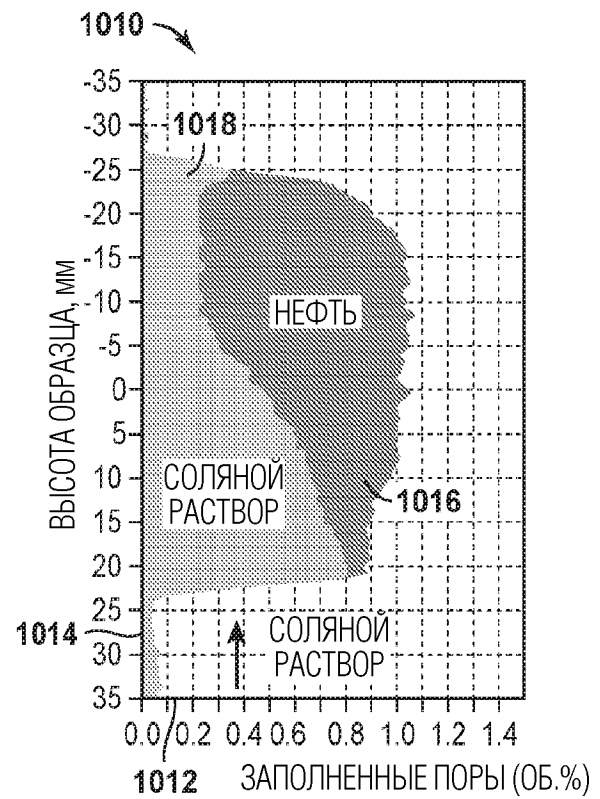
ФИГ. 9С



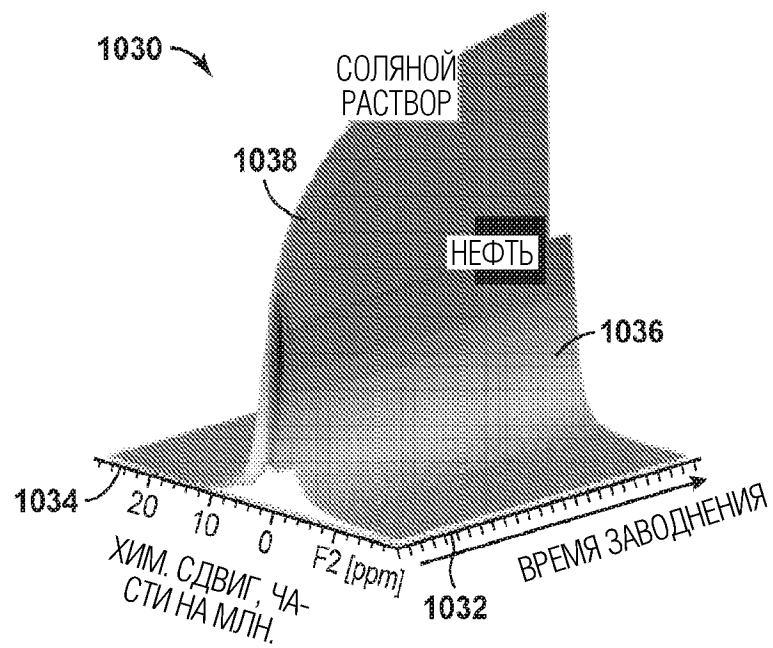
ФИГ. 9D



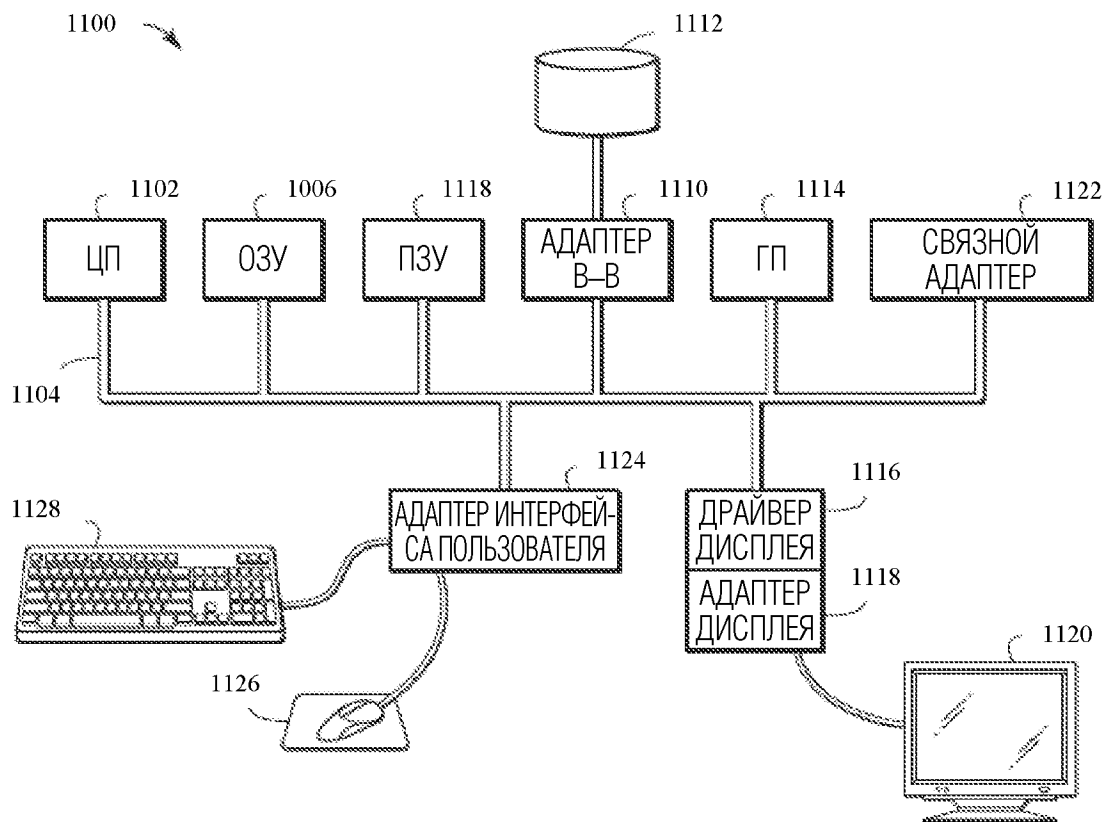
ФИГ. 10А



ФИГ. 10В



ФИГ. 10С



ФИГ. 11