



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015153156/03, 12.07.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.07.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.07.2013

(45) Опубликовано: 10.10.2016 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 4899112 A1, 06.02.1990. SU 1753435 A1, 07.08.1992. US 6163155 A1, 19.12.2000. WO 2012144981 A1, 26.10.2012. WO 2013048375 A1, 04.04.2013.

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: 12.02.2016

(86) Заявка РСТ:
US 2013/050359 (12.07.2013)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2015/005937 (15.01.2015)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б.Спасская, 25, строение 3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

ТАН, Юмей (US)

(73) Патентообладатель(и):

**ХЭЛЛИБЕРТОН ЭНЕРДЖИ СЕРВИСИЗ,
ИНК. (US)**

(54) ОБНАРУЖЕНИЕ МЕСТОПОЛОЖЕНИЙ ГРАНИЦ ПЛАСТА НА ОСНОВАНИИ ИЗМЕРЕНИЙ НА НЕСКОЛЬКИХ ГЛУБИНАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА В СТВОЛЕ СКВАЖИНЫ

(57) Реферат:

Изобретение относится к обнаружению местоположений границ пластов на основании измерений удельного сопротивления на нескольких глубинах размещения инструмента в стволе скважины. Техническим результатом является повышение эффективности обнаружения местоположения границ пластов. Способ включает получение доступа к первому измерению, произведенному на основании эксплуатации передатчика и приемника инструмента резистивиметрического каротажа на первой глубине размещения инструмента в стволе скважины, определенной в подземной области, которая содержит несколько

подповерхностных слоев; расчет градиента, связанного с первой глубиной размещения инструмента, при этом градиент рассчитывается по первому измерению и второму измерению. При этом второе измерение производится на основании эксплуатации передатчика и приемника инструмента резистивиметрического каротажа на второй, другой глубине размещения инструмента в стволе скважины; и определение, путем эксплуатации устройства для обработки данных, местоположения границ одного или более подповерхностных слоев на основании указанного градиента и первого измерения, связанного с первой глубиной размещения

инструмента. 3 н. и 17 з.п. ф-лы, 7 ил.

R U 2 5 9 9 6 4 8 C 1

R U 2 5 9 9 6 4 8 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 599 648** (13) **C1**

(51) Int. Cl.

G01V 3/20 (2006.01)

E21B 47/13 (2012.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2015153156/03, 12.07.2013**

(24) Effective date for property rights:
12.07.2013

Priority:

(22) Date of filing: **12.07.2013**

(45) Date of publication: **10.10.2016** Bull. № 28

(85) Commencement of national phase: **12.02.2016**

(86) PCT application:
US 2013/050359 (12.07.2013)

(87) PCT publication:
WO 2015/005937 (15.01.2015)

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B.Spasskaja, 25, stroenie 3, OOO
"JUrIdicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

TAN, YUmej (US)

(73) Proprietor(s):

**KHELLIBERTON ENERDZHI SERVISIZ,
INK. (US)**

(54) DETECTION OF LOCATION OF BOUNDARIES OF FORMATION ON BASIS OF MEASUREMENTS AT SEVERAL DEPTHS OF TOOL IN WELL BORE

(57) Abstract:

FIELD: mining.

SUBSTANCE: invention relates to detection of location of boundaries of formations based on measurements of specific resistance at several depths of tool in a well bore. Method includes obtaining access to a first measurement, derived based on operation of a transmitter and a receiver of a resistivity logging tool at a first depth tool in a well bore, defined in a subsurface region, which includes several subsurface layers; calculation of gradient associated with first depth of tool, wherein gradient is calculated according to a

first measurement and a second measurement. Second measurement is carried out based on operation of transmitter and receiver of a resistivity logging tool at a second, other depth of tool in well bore; and determining, by operation of a data processing device, location of boundaries of one or more subsurface layers based on said gradient and first measurement associated with first depth of tool.

EFFECT: high efficiency of detecting position of boundaries of formations.

20 cl, 7 dwg

R U 2 5 9 9 6 4 8 C 1

R U 2 5 9 9 6 4 8 C 1

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0001] Данное описание относится к обнаружению местоположений границ пластов, например, на основании измерений удельного сопротивления на нескольких глубинах размещения инструмента в стволе скважины.

- 5 [0002] В области кабельного каротажа и каротажа в процессе бурения инструменты каротажа электромагнитного удельного сопротивления применяют для исследования геологической среды на основании удельного электрического сопротивления (или его обратной величины - удельной проводимости) горных пород. Некоторые инструменты резистивиметрического каротажа содержат несколько антенн для передачи
10 электромагнитного сигнала в пласт и несколько антенн приемника для приема отражения пласта. Характеристики подповерхностных слоев пласта можно определить на основании отражения пласта, обнаруживаемого приемниками.

ОПИСАНИЕ ГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

[0003] Фиг. 1А представляет собой схему типовой скважинной системы.

- 15 [0004] Фиг. 1В представляет собой схему типовой скважинной системы, которая содержит инструмент резистивиметрического каротажа в среде кабельного каротажа.

[0005] Фиг. 1С представляет собой схему типовой скважинной системы, которая содержит инструмент резистивиметрического каротажа в среде каротажа в процессе бурения (КПБ).

- 20 [0006] Фиг. 2 представляет собой схему типовой компьютерной системы.

[0007] Фиг. 3 представляет собой схему типового инструмента резистивиметрического каротажа.

[0008] Фиг. 4 представляет собой схему модели подземного пласта 400 для численного моделирования.

- 25 [0009] Фиг. 5 представляет собой типовые каротажные измерения удельного сопротивления, произведенные с помощью численного моделирования.

[0010] Фиг. 6А и 6В представляют собой графики каротажных данных удельного сопротивления, полученных с помощью численного моделирования.

- 30 [0011] Фиг. 7 представляет собой блок-схему, иллюстрирующую типовой метод определения границ подземных слоев.

[0012] Аналогичные обозначения в различных графических материалах указывают на аналогичные элементы.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

- 35 [0013] Некоторые аспекты данного описания описывают функциональные методы обратного преобразования. В некоторых вариантах реализации изобретения методы обратного преобразования могут быть применены, например, для того, чтобы эффективно рассчитать расстояние до границ пласта (РДГП) на основании измерений направленного каротажа в процессе бурения (КПБ). Например, местоположения границ подповерхностных слоев можно определять в режиме реального времени во время
40 бурения или других видов работ. Информацию о местоположении границ можно определить по разности между результатами измерений, производимыми путем эксплуатации инструмента резистивиметрического каротажа в различных положениях в стволе скважины.

- 45 [0014] В некоторых случаях методы, описанные в данном документе, являются функциональными по отношению ко многим типам условий или явлений. Например, местоположения границ могут быть определены по одному измерению на заданной глубине размещения инструмента, даже если результат измерения близок к нулю. Информацию о местоположении границ можно применять для многих целей, таких

как, например, решения относительно геонавигации (управление направлением бурения и т. д.), и других целей. Методы, описанные в данном документе, могут быть реализованы при помощи различных типов компьютерных систем и устройств. Например, в определенных случаях некоторые или все из этих операций могут

5 выполняться с помощью процессора, встроенного в каротажный инструмент. Более того, методы, описанные в данном документе, могут быть реализованы для определения в стволе скважины или другом месте границ пласта в режиме реального времени.

[0015] Фиг. 1А представляет собой схему типовой скважинной системы 100. Типовая скважинная система 100 также содержит систему резистивиметрического каротажа 108

10 и подземную область 120 под земной поверхностью 106. Скважинная система может содержать дополнительные или другие компоненты, не проиллюстрированные на Фиг. 1А. Например, скважинная система 100 может содержать дополнительные компоненты буровой системы, компоненты системы кабельного каротажа и т. д.

[0016] Подземная область 120 может содержать все или часть одного или более

15 подземных пластов или зон. Типовая подземная область 120, проиллюстрированная на Фиг. 1А, содержит несколько подповерхностных слоев 122 и ствола скважины 104, проходящего сквозь подповерхностные слои 122. Подповерхностные слои 122 могут включать осадочные слои, слои породы, песчаные слои или комбинации этих других типов подповерхностных слоев. Один или более подповерхностных слоев могут

20 содержать флюиды, такие как минерализованная вода, нефть, газ и т. д. Хотя типовой ствол скважины 104, проиллюстрированный на Фиг. 1А, представляет собой вертикальный ствол скважины, система резистивиметрического каротажа 108 может быть реализована в других направлениях ствола скважины. Например, система резистивиметрического каротажа 108 может быть приспособлена к работе в

25 горизонтальных стволах скважин, наклонных стволах скважин, изогнутых стволах скважин, вертикальных стволах скважин или их комбинациях.

[0017] Типовая система резистивиметрического каротажа 108 содержит каротажный инструмент 102, наземное оборудование 112 и компьютерную подсистему 110. В примере, проиллюстрированном на Фиг. 1А, каротажный инструмент 102 представляет собой

30 скважинный каротажный инструмент, который функционирует, будучи размещенным в стволе скважины 104. Типовое наземное оборудование 112, проиллюстрированное на Фиг. 1А, функционирует на уровне или выше поверхности 106, например, вблизи устья скважины 105, для управления каротажным инструментом 102 и, возможно, другим скважинным оборудованием или другими компонентами скважинной системы

35 100. Типовая компьютерная подсистема 110 может получать и анализировать каротажные данные каротажного инструмента 102. Система резистивиметрического каротажа может содержать дополнительные или другие компоненты, и компоненты системы резистивиметрического каротажа могут быть расположены и могут эксплуатироваться, как проиллюстрировано на Фиг. 1А, или иным способом.

[0018] В некоторых случаях вся компьютерная подсистема 110 или ее часть может

40 быть реализована как компонент, или может быть интегрирована с одним или более компонентами: наземного оборудования 112, каротажного инструмента 102 или обоими. В некоторых случаях компьютерная подсистема 110 может быть реализована как одна или более конструкций дискретной компьютерной системы отдельно от наземного

45 оборудования 112 и каротажного инструмента 102. Компьютерная подсистема 110 может представлять собой или включать типовую компьютерную систему 200, проиллюстрированную на Фиг. 2, другие типы компьютерных устройств или их комбинацию.

[0019] В некоторых вариантах реализации изобретения компьютерная подсистема 110 встроена в каротажный инструмент 102, и компьютерная подсистема 110 и каротажный инструмент 102 могут функционировать одновременно, будучи размещенными в стволе скважины 104. Например, хотя компьютерная подсистема 110
 5 проиллюстрирована как находящаяся над поверхностью 106 в примере, проиллюстрированном на Фиг. 1А, вся компьютерная подсистема 110 или ее часть может располагаться ниже поверхности 106, например, в местоположении каротажного инструмента 102 или вблизи его.

[0020] Скважинная система 100 может содержать коммуникационное или
 10 телеметрическое оборудование, которые обеспечивает связь между компьютерной подсистемой 110, каротажным инструментом 102 и другими компонентами системы резистивиметрического каротажа 108. Например, каждый компонент системы резистивиметрического каротажа 108 может содержать один или более
 15 передатчиков или подобных устройств для проводной или беспроводной передачи данных между различными компонентами. Например, система резистивиметрического каротажа 108 может включать системы и устройства для проводной телеметрии, проводную трубную телеметрию, телеметрию по гидроимпульсному каналу связи, акустическую телеметрию, электромагнитную телеметрию или комбинацию этих других типов телеметрии. В некоторых случаях
 20 каротажный инструмент 102 получает команды, сигналы состояния или другие типы информации от компьютерной подсистемы 110 или из другого источника. В некоторых случаях компьютерная подсистема 110 получает каротажные данные, сигналы состояния или другие типы информации от каротажного инструмента 102 или из другого источника.

[0021] Операции резистивиметрического каротажа могут быть выполнены в связи с
 25 различными типами скважинных операций на различных этапах срока службы скважинной системы. Многие структурные параметры и компоненты наземного оборудования 112 и каротажного инструмента 102 будут зависеть от обстоятельств операций резистивиметрического каротажа. Например, резистивиметрический каротажрезистивиметрический каротаж можно осуществлять в ходе буровых работ,
 30 во время операций кабельного каротажа или в других обстоятельствах. Таким образом, наземное оборудование 112 и каротажный инструмент 102 могут включать или могут функционировать в связи с буровым оборудованием, оборудованием кабельного каротажа или другим оборудованием для других типов работ.

[0022] В некоторых примерах операции резистивиметрического каротажа
 35 выполняются в ходе операций кабельного каротажа. Фиг. 1В иллюстрирует типовую скважинную систему 100b, которая содержит инструмент резистивиметрического каротажа 102 в среде кабельного каротажа. В некоторых типовых операциях кабельного каротажа наземное оборудование 112 содержит платформу над поверхностью 106, оснащенную башенной вышкой 132, которая поддерживает каротажный кабель 134,
 40 уходящий в ствол скважины 104. Операции кабельного каротажа могут быть выполнены, например, после того, как бурильную колонну извлекают из скважины 104, чтобы обеспечить спуск кабельного каротажного инструмента 102 с помощью каротажной проволоки или каротажного кабеля в ствол скважины 104.

[0023] В некоторых примерах операции резистивиметрического каротажа выполняют
 45 во время буровых работ. Фиг. 1С иллюстрирует типовую скважинную систему 100c, которая содержит инструмент резистивиметрического каротажа 102 в среде каротажа в процессе бурения (КПБ). Бурение обычно выполняют при помощи колонны бурильных труб, соединенных вместе для образования бурильной колонны 140, которую опускают

через поворотный стол в ствол скважины 104. В некоторых случаях буровая установка 142 на поверхности 106 поддерживает бурильную колонну 140, когда бурильной колонной 140 управляют для бурения ствола скважины с проникновением в подземную область 120. Бурильная колонна может содержать, например, ведущую трубу, бурильную трубу, компоновку низа бурильной колонны и другие компоненты. Компоновка низа бурильной колонны может содержать утяжеленные бурильные трубы, буровые долота, каротажный инструмент 102 и другие компоненты. Каротажные инструменты могут включать инструменты для измерения в процессе бурения (ИПБ), инструменты КПБ и другие инструменты.

[0024] В некоторых типовых вариантах реализации изобретения каротажный инструмент 102 включает инструмент резистивиметрического каротажа пласта для получения измерений удельного сопротивления из подземной области 120. Как проиллюстрировано, например, на Фиг. 1В, каротажный инструмент 102 может быть подвешен в стволе скважины 104 посредством каротажного кабеля, гибкие НКТ малого диаметра или другой конструкции, которая соединяет данный инструмент с наземным блоком управления или другими компонентами наземного оборудования 112. В некоторых типовых вариантах реализации изобретения каротажный инструмент 102 опускают на дно требуемой области, а затем подтягивают вверх (например, при, по существу, постоянной скорости) через требуемую область. Как проиллюстрировано, например, на Фиг. 1С, каротажный инструмент 102 могут размещать в стволе скважины 104 на состыкованной бурильной трубе, бурильной трубе с жестким монтажом или другом оборудовании для размещения. В некоторых типовых вариантах реализации изобретения каротажный инструмент 102 собирает данные в ходе буровых работ, когда перемещается вниз сквозь требуемую область в процессе буровых работ.

[0025] В некоторых типовых вариантах реализации изобретения каротажный инструмент 102 собирает данные в дискретных точках каротажа в стволе скважины 104. Например, каротажный инструмент 102 может перемещаться вверх или вниз постепенно к каждой точке каротажа в ряде глубин в стволе скважины 104. В каждой точке каротажа контрольно-измерительные приборы в каротажном инструменте 102 (например, передатчики и приемники, проиллюстрированные на Фиг. 3) выполняют измерения в подземной области 120. Данные измерений могут быть переданы в компьютерную подсистему 110 для хранения, обработки и анализа. Такие данные оценивания пласта могут быть собраны и проанализированы в процессе буровых работ (например, в ходе операций каротажа в процессе бурения (КПБ)), в ходе операций кабельного каротажа или во время других типов работ.

[0026] Компьютерная подсистема 110 может получать и анализировать данные измерений от каротажного инструмента 102 для обнаружения подповерхностных слоев 122. Например, компьютерная подсистема 110 может обнаружить местоположение границ и другие свойства подповерхностных слоев 122 на основании измерений удельного сопротивления, произведенных с помощью каротажного инструмента 102 в стволе скважины 104. Например, в некоторых случаях более высокое удельное сопротивление указывает на более высокую вероятность скопления углеводородов.

[0027] В некоторых случаях местоположение границ подповерхностных слоев 122 обнаруживают на основании анализа расстояния до границы пласта (РДГП). Например, система резистивиметрического каротажа 108 может определить расстояние до границы каждого подповерхностного слоя 122 от исходной точки на каротажном инструменте 102. Исходная точка на каротажном инструменте 102 может представлять собой, например, глубину ствола скважины в осевом центре ряда передатчиков и приемников

в каротажном инструменте 102 или вблизи него либо глубину ствола скважины в другом месте. Граница каждого подповерхностного слоя 122 может представлять собой, например, глубину ствола скважины, на которой подповерхностные слои 122 пересекаются со стволом скважины 104.

5 [0028] В некоторых вариантах реализации изобретения каротажный инструмент 102 содержит несколько антенн, каждая из которых функционирует как передатчик или приемник. В антеннах передатчика могут использоваться переменные токи, чтобы генерировать электромагнитное поле, которое может индуцировать вихревые токи в близлежащей области. Вихревые токи могут генерировать магнитное поле, которое
10 может быть обнаружено антеннами приемника в каротажном инструменте 102.

[0029] Некоторые типовые каротажные инструменты содержат несколько передатчиков и несколько приемников, при этом каждый передатчик и каждый приемник находятся в другом положении вдоль продольной оси каротажного инструмента. Несколько приемников могут обнаружить отражение на основании сигнала от одного
15 передатчика. Сигнал, полученный двумя расположенными на определенном расстоянии друг от друга приемниками, может иметь разность фаз и амплитуд.

[0030] В определенных случаях некоторые или все из передатчиков и приемников в одном каротажном инструменте могут функционировать на нескольких электромагнитных частотах. Измерения, полученные передатчиками и приемниками,
20 функционирующими на нескольких частотах и нескольких местоположениях с интервалами, могут обеспечивать универсальность и другие преимущества при обнаружении пластов. На диапазон чувствительности могут влиять пласт, конструкция инструмента или другие факторы.

[0031] Различные аспекты подземной области 120 могут влиять на результаты
25 измерения удельного сопротивления, получаемые с помощью каротажного инструмента 102. Например, на каротажные измерения удельного сопротивления могут оказывать существенное влияние анизотропия пласта, угол падения пласта, расстояния до границ и другие факторы, и система резистивиметрического каротажа 108 может учитывать эти параметры для получения точного удельного сопротивления пласта и определения
30 положения.

[0032] В некоторых случаях типовая компьютерная подсистема 110 использует метод обратного преобразования для получения информации относительно характеристик пласта на основании данных измерения удельного сопротивления, полученных с помощью каротажного инструмента 102. Некоторые типовые методы обратного
35 преобразования действуют путем поиска оптимального или иным образом приемлемого соответствия между смоделированными данными и измерениями. Смоделированные данные могут быть получены с предположением характеристик пласта, включая горизонтальное удельное сопротивление, вертикальное удельное сопротивление, угол падения, местоположение границы и т. д.

40 [0033] В некоторых случаях типовая система резистивиметрического каротажа 108 может выдавать быстро и в режиме реального времени расчеты по расстоянию до границы пласта. Например, в контексте бурения местоположение текущей точки каротажа может иметь значение для принятия на месте решений в отношении бурения. Если известно удельное сопротивление пласта, код одномерного (1D) обратного
45 преобразования может получить расстояние до границ пласта (РДГП) с направленными измерениями КПБ и может дать результат обратного преобразования, когда в наличии имеется достаточно результатов измерений.

[0034] В случае некоторых типовых методов обратного преобразования два

неизвестных расстояния (например, расстояния до верхней и нижней границ) могут быть определены на основании по меньшей мере двух различных необработанных измерений, произведенных с помощью каротажного инструмента 102. Например, чтобы

уменьшить неопределенность, могут быть необходимы два необработанных измерения. В некоторых случаях каротажный инструмент 102 получает два или более необработанных измерений в одном месте каротажа в стволе скважины 104 и передает все необработанные измерения компьютерной подсистеме 110 для анализа (например, для расчетов расстояния до границы пласта).

[0035] В некоторых случаях компьютерная подсистема 110 может использовать метод обратного преобразования, который действует на основании одного необработанного измерения для отдельного места каротажа в стволе скважины 104. Существуют различные обстоятельства, когда в компьютерной подсистеме 110 в наличии есть только одно из необработанных измерений в отношении места каротажа. Например, ограничивающие условия телеметрической технологии (например, скорость передачи данных, пропускная способность, повреждение данных и т. д.) могут ограничить объем данных, которые могут передаваться каротажным инструментом 102 компьютерной подсистеме 110 в режиме реального времени (или при другом временном условии). В качестве другого примера, некоторые необработанные измерения по месту каротажа могут быть слишком слабыми, например, из-за электрического эффекта баланса вблизи центра подповерхностного слоя.

[0036] В некоторых вариантах реализации изобретения компьютерная подсистема 110 может использовать функциональный метод обратного преобразования для определения расстояния до границ пласта (РДГП) на основании разности между измерениями удельного сопротивления в различных положениях каротажного инструмента в стволе скважины 104. Функциональный метод обратного преобразования может, в некоторых случаях, определить расстояния до верхней и нижней границ пласта в режиме реального времени с помощью одного измерения по каждому из мест каротажа. Например, компьютерная подсистема 110 может определить два неизвестных расстояния (например, расстояния до верхней и нижней границ) при помощи одного необработанного измерения для первого места каротажа и градиента необработанного измерения по отношению ко второму (предыдущему) месту каротажа.

[0037] Фиг. 2 представляет собой схему типовой компьютерной системы 200. Типовую компьютерную систему 200 могут применять в качестве компьютерной подсистемы 110 по Фиг. 1А или типовую компьютерную систему 200 могут применять иным способом. В некоторых случаях типовая компьютерная система 200 может функционировать в связи со скважинной системой (например, скважинной системой 100, проиллюстрированной на Фиг. 1А) и быть расположена на месте или вблизи одной или более скважин из скважинной системы или в удаленном месте. Вся целиком или частично компьютерная система 200 может функционировать независимо от скважинной системы.

[0038] Типовая компьютерная система 200, проиллюстрированная на Фиг. 2, содержит запоминающее устройство 150, процессор 160, и контроллеры ввода/вывода 170, имеющие коммуникативное соединение посредством шины 165. Запоминающее устройство 150 может включать, например, оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), запоминающее устройство (например, перезаписываемое постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) или другие), жесткий диск или другой тип носителя данных. Компьютерная подсистема 110 может быть предварительно запрограммирована или может быть запрограммирована (и перепрограммирована) путем загрузки

программы из другого источника (например, с CD-ROM, с другого компьютерного устройства через сеть передачи данных или иным способом).

[0039] В некоторых примерах контроллер ввода/вывода 170 соединен с устройствами ввода/вывода (например, монитор 175, мышь, клавиатура или другие устройства ввода/вывода) и с каналом связи 180. Устройства ввода/вывода принимают и передают данные в аналоговом или цифровом виде по каналам связи, таким как соединение через последовательные каналы, беспроводную связь (например, инфракрасная, радиочастотная или другие), параллельную связь или другой тип связи.

[0040] Канал связи 180 может включать любой тип канала связи, соединителя, сети передачи данных или другой канал. Например, канал связи 180 может включать беспроводную или проводную сеть, локальную компьютерную сеть (LAN), глобальную сеть (WAN), частную сеть, общедоступную сеть (такую как Интернет), сеть WiFi, сеть, которая содержит спутниковую связь, или другой тип сети передачи данных.

[0041] Запоминающее устройство 150 может хранить машинные команды (например, программный код), связанные с операционной системой, компьютерные приложения и другие ресурсы. Запоминающее устройство 150 может также хранить данные приложений и объекты данных, которые могут быть расшифрованы с помощью одного или более приложений или виртуальных машин, работающих на основе компьютерной системы 200. Как проиллюстрировано на Фиг. 2, типовое запоминающее устройство 150 содержит каротажные данные 151, данные о слоях 152, другие данные 153 и приложения 154. Данные и приложения в запоминающем устройстве 150 могут храниться в любой пригодной форме или формате.

[0042] Каротажные данные 151 могут включать измерения и другие данные, полученные от каротажного инструмента. В некоторых случаях каротажные данные 151 включают одно или более измерений по каждому из нескольких различных точек каротажа в стволе скважины. Например, точка каротажа, связанная с данным измерением, может представлять собой местоположение исходной точки каротажного инструмента, когда получено данное измерение.

[0043] Каротажные данные 151 могут включать информацию, полученную из одного или более измерений. Например, каротажные данные 151 могут включать разности между результатами измерений по каждой точке каротажа и другие типы информации, получаемой из необработанных измерений. Каждое измерение и соответствующая информация в каротажных данных 151 могут включать необработанные или обработанные данные, или их комбинацию. Каждое измерение может включать данные, полученные с помощью одной или более пар передатчика-приемника, функционирующих на одной или более частотах сигнала. Каждое измерение может включать данные, полученные с помощью нескольких пар передатчика-приемника, функционирующих на одном или более расстояниях между передатчиком и приемником.

[0044] Данные о слое 152 могут включать информацию о подповерхностных слоях. Например, данные о слое 152 могут включать информацию, характеризующую удельное сопротивление, размер, глубину, объем, геометрию, площадь резервуара, пористость, давление и другую информацию о подповерхностном слое. В некоторых вариантах реализации изобретения данные о слое 152 включают информацию, получаемые при помощи устройства обратного преобразования. Например, данные о слое 152 могут включать информацию о расстоянии до границы пласта, полученную на основании измерений удельного сопротивления, и другую информацию в каротажных данных 151. Соответственно, данные о слое 152 могут включать информацию, связанную с одной или более точек каротажа. Например, данные о слое 152 могут указывать на расстояние

от точки каротажа до одной или более границ слоя.

[0045] Другие данные 153 могут включать другую информацию, которая применяется, создается приложениями 154 или как-то иначе с ними связана. Например, другие данные 153 могут включать смоделированные данные или другую информацию, которая может
5 быть применена устройством обратного преобразования для получения данных о слое 152 из каротажных данных 151.

[0046] Приложения 154 могут включать приложения программного обеспечения, командные файлы, программы, функции, исполняемые файлы или другие модули, которые интерпретируются или выполняются процессором 160. Например, приложения
10 154 могут включать устройство обратного преобразования, вычислитель градиента и другие типы модулей. Приложения 154 могут включать машиночитаемые команды для выполнения одной или более операций, связанных с Фиг. 5-7.

[0047] Приложения 154 могут получать входные данные, такие как каротажные данные, данные о моделировании, или другие типы входных данных, из запоминающего
15 устройства 150, из другого локального источника или из одного или более удаленных источников (например, через канал связи 180). Приложения 154 могут создавать выходные данные и сохранять выходные данные в запоминающем устройстве 150, в другом локальном носителе или в одном или более удаленных устройств (например, путем отправки выходных данных через канал связи 180).

[0048] Процессор 160 может выполнять команды, например, для создания выходных
20 данных на основании входных данных. Например, процессор 160 может запускать приложения 154 путем выполнения или интерпретации программного обеспечения, командных файлов, программ, функций, исполняемых файлов или других модулей, содержащихся в приложениях 154. Процессор 160 может выполнять одну или более
25 операций, связанных с Фиг. 5-7. Входные данные, получаемые процессором 160, или выходные данные, создаваемые процессором 160, могут включать любые каротажные данные 151, данные о слое 152 или другие данные 153.

[0049] Фиг. 3 представляет собой схему типового инструмента резистивиметрического каротажа 300. Типовой инструмент резистивиметрического каротажа 300 может быть
30 применен в системе резистивиметрического каротажа 108, проиллюстрированной на Фиг. 1А, например, в качестве каротажного инструмента 102, компонента каротажного инструмента 102 или иным способом. Типовой инструмент резистивиметрического каротажа 300 может быть применен в других типах систем (в том числе других типах систем резистивиметрического каротажа) или в других средах (например, в других
35 типах скважинных систем).

[0050] В основном, инструмент каротажа сопротивления для направленного бурения содержит ряд (N) наклонно или соосно расположенных антенн передатчика $T_1, T_2, T_3, \dots, T_N$, размещенных на определенном расстоянии друг от друга вдоль инструмента, и ряд (N') наклонно или соосно расположенных антенн приемника $R_1, R_2, R_3, \dots, R_{N'}$, которые в
40 осевом направлении размещены на определенном расстоянии от антенн передатчика и друг от друга. В некоторых случаях после помещения в ствол скважины инструмента резистивиметрического каротажа данный инструмент может вращаться и собирать измерения приемников, возбуждаемые многоинтервальными и многочастотными передатчиками источника тока. Измерения, произведенные с помощью инструмент
45 каротажа сопротивления для направленного бурения на разных частотах и расстояниях, могут иметь различные значения чувствительности к характеристикам пласта и различные возможности обнаружения, даже для одной и той же характеристики. В некоторых случаях большие расстояния передатчика/приемника осуществляют глубокие

измерения границы пласта и удельного сопротивления прилегающих пластов, а короткие расстояния передатчика/приемника предоставляют точную информацию о локальной зоне.

[0051] Типовой инструмент резистивиметрического каротажа 300 является одним из примеров инструмента каротажа сопротивления для направленного бурения. Типовой инструмент резистивиметрического каротажа 300 содержит корпус инструмента 303, шесть передатчиков 302a, 302b, 302c, 302d, 302e, 302f и три приемника 304a, 304b, 304c. Инструмент резистивиметрического каротажа может содержать дополнительные элементы, такие как, например, устройство для обработки данных для управления работой передатчиков и приемников, блок питания для питания передатчиков и приемников, компьютерную подсистему для обработки данных от передатчиков и приемников, систему телеметрии для связи с внешними системами и т. д. Инструмент резистивиметрического каротажа может содержать различное количество передатчиков, различное количество приемников или и то, и другое, а также передатчики и приемники могут быть расположены, как проиллюстрировано на Фиг. 3, или иметь схему расположения другого типа.

[0052] Корпус инструмента 303 может содержать конструкции, компоненты или узлы для поддержки передатчиков, приемников и, возможно, других компонентов инструмента резистивиметрического каротажа 300. Корпус инструмента 303 может быть соединен с другими компонентами системы резистивиметрического каротажа, такими как, например, буровая компоновка, кабельная сборка или другой тип компонента. Типовой корпус инструмента 303, проиллюстрированный на Фиг. 3, определяет продольную ось инструмента резистивиметрического каротажа 300, и каждый передатчик или приемник фиксируется в ином положении вдоль продольной оси.

[0053] Во время работы корпус инструмента 303 может быть перемещен в пределах ствола скважины через ряд точек каротажа. В каждой точке каротажа некоторые или все передатчики и приемники могут функционировать на одной или более частот сигнала для сбора данных об удельном сопротивлении, которые могут обрабатываться инструментом резистивиметрического каротажа 300, передаваться другой системе для обработки, или и то, и другое.

[0054] В дальнейшем описании передатчики 302a, 302b, 302c, 302d, 302e и 302f называются $T_1, T_2, T_3, T_3', T_2'$ и T_1' , соответственно, а приемники 304a, 304b и 304c называются R_1, R_2 и R_3 , соответственно. В основном, элементы передатчика и элементы приемника могут быть расположены под любым углом к продольной оси инструмента резистивиметрического каротажа 300. В примере, проиллюстрированном на Фиг. 3, каждый из передатчиков $T_1, T_2, T_3, T_3', T_2'$ и T_1' расположен соосно с продольной осью, а элементы приемников R_1, R_2 и R_3 расположены наклонно под углом 45 градусов к продольной оси. В некоторых случаях передатчики могут быть расположены наклонно, а приемники - соосно; и в некоторых случаях все передатчики и приемники расположены наклонно, и углы наклона передатчиков и приемников могут быть одинаковыми или могут быть разными. Кроме того, функции передатчиков и приемников могут быть взаимозаменяемыми. Могут быть применены элементы передатчиков и элементы приемников в других конфигурациях.

[0055] Расстояние между антеннами вдоль продольной оси может быть указано в единицах параметра длины x . В некоторых вариантах реализации типового инструмента резистивиметрического каротажа 300 параметр длины x равен 40,64 см (16 дюймам); может быть применено другое значение параметра длины. В примере,

проиллюстрированном на Фиг. 3, при измерении вдоль продольной оси от средней точки между центрами антенн приемника R_1 и R_2 , передатчики T_3 и T_3' расположены на $\pm 1x$ (например, $\pm 40,64$ см (16 дюймов)), передатчики T_2 и T_2' расположены на $\pm 2x$ (например, $\pm 81,28$ см (32 дюйма)), и передатчики T_1 и T_1' расположены на $\pm 3x$ (например, $\pm 121,92$ см (48 дюймов)); антенны приемника R_1 и R_2 расположены на $\pm x/4$ (например, $\pm 10,16$ см (4 дюйма)), а антенна приемника R_3 расположена на $-4x$ (например, $-162,56$ см (64 дюйма)). Передатчики и приемники могут располагаться в разных местах.

[0056] Параметр длины и коэффициенты расстояний могут по необходимости изменяться, чтобы обеспечить большую или меньшую глубину исследования, более высокое пространственное разрешение или более высокое соотношение сигнал-шум. С проиллюстрированным расстоянием симметричные измерения удельного сопротивления могут быть выполнены при расстояниях $1x$, $2x$ и $3x$ между парой наклонно расположенных антенн приемника $R_1 - R_2$ и соответствующими передатчиками в каждой из расположенных на расстоянии друг от друга пар $T_1 - T_1'$; $T_2 - T_2'$; $T_3 - T_3'$. Кроме того, асимметричные измерения удельного сопротивления могут быть выполнены при расстояниях $1x$, $2x$, $3x$, $5x$, $6x$ и $7x$ между наклонно расположенной антенной приемника R_3 и соответствующими передатчиками T_1 , T_2 , T_3 , T_3' , T_2' и T_1' . В некоторых случаях конфигурация этого расстояния предоставляет универсальность, обеспечивая глубокие (но асимметричные) измерения для обнаружения границы пласта и симметричные измерения для точного азимутального определения удельного сопротивления.

[0057] В некоторых аспектах работы каждый из шести передатчиков T_1 , T_2 , T_3 , T_3' , T_2' и T_1' может, в свою очередь, быть под напряжением, и могут быть измерены фаза и амплитуда результирующего напряжения, индуцируемого в каждой из трех измерительных рамочных антенн приемника R_1 , R_2 и R_3 . Может быть получено измерение по полному вращению (360 градусов вращения), когда инструмент вращается в заданном месте каротажа в стволе скважины. Измерения, распределенных на 360 градусов, могут быть разделены на m бины, где каждый бин охватывает угол $360/m$ градусов. Первый бин ("бин 1") может представлять собой измерение в верхнем правом направлении, перпендикулярном продольной оси каротажного инструмента. Например, если общее число бина составляет 32, то семнадцатый бин ("бин 17") представляет собой обратное (противоположное) направление "бина 1". На основании этих измерений, или комбинации этих измерений, может быть определено удельное сопротивление пласта.

[0058] В некоторых вариантах реализации изобретения, поскольку отражение наклонно расположенных антенн воспринимается в азимутальном направлении, геофизический сигнал, рассчитываемый для бина, может быть применен в качестве индикатора границы пласта. При типовой функции расчета геофизического сигнала берется разность между фазой или каротажной амплитудой для текущего бина и средней фазой или каротажной амплитудой для всех бинов в заданном осевом положении в стволе скважины:

$$\text{geo_att}_{R1T1}(k) = 20 \log(A_{R1T1}(k)) - \frac{1}{32} \sum_{i=1 \dots 32} 20 \log A_{R1T1}(i) \quad (1)$$

$$\text{geo_pha}_{R1T1}(k) = \phi_{R1T1}(k) - \frac{1}{32} \sum_{i=1 \dots 32} \phi_{R1T1}(i) \quad (2)$$

В вышеприведенных уравнениях (1) и (2) "geo" обозначает геофизический сигнал, "att" обозначает затухание, "pha" обозначает фазу, "A" обозначает амплитуду напряжения, "φ" обозначает фазу напряжения, "R" обозначает приемник и "T" обозначает передатчик. Например, $\text{geo_att}_{R1T1}(k)$ обозначает затухание геофизического сигнала измерения бина k^{th}

на приемнике R_1 , возбужденном при помощи T_1 , и $geo_pha_{R1T1}(k)$ обозначает фазу геосигнала измерения бина k^{th} на приемнике R_1 , возбужденном при помощи T_1 . Значения geo_pha представлены в единицах градусов, а значения geo_att представлены в единицах децибел (дБ).

5 [0059] Вышеприведенные уравнения (1) и (2) показывают типовые расчеты геофизического сигнала, которые генерируют измерение резистивиметрического каротажа на основании данных, полученных путем эксплуатации одной пары передатчика и приемника. Для получения измерения резистивиметрического каротажа могут быть использованы другие типы уравнений, и измерение резистивиметрического
10 каротажа может быть получено на основании данных, полученных путем эксплуатации одной пары передатчика и приемника или на основании данных, полученных путем эксплуатации нескольких пар передатчиков и приемников.

[0060] Например, компенсированное измерение резистивиметрического каротажа может быть получено путем усреднения (или иного объединения) данных, полученных
15 несколькими симметричными парами передатчиков-приемников. Пары передатчиков и приемников могут включать один передатчик и несколько приемников, один приемник и несколько передатчиков или несколько передатчиков и несколько приемников. Каждая пара передатчика и приемника, используемая для получения измерения резистивиметрического каротажа, может иметь одинаковые расстояния между
20 передатчиками и приемниками, или данные по нескольким расстояниям между передатчиками и приемниками могут быть использованы для получения измерения резистивиметрического каротажа. Пример компенсированного амплитудного измерения α_c выглядит следующим образом:

$$\alpha_{T1} = \log(A_{R2T1}) - \log(A_{R1T1}) \quad (3a)$$

$$25 \quad \alpha_{T1'} = \log(A_{R1T1'}) - \log(A_{R2T1'}) \quad (3b)$$

$$\alpha_c = (\alpha_{T1} + \alpha_{T1'})/2 \quad (3c)$$

Можно получать другие типы компенсированных или некомпенсированных каротажных измерений удельного сопротивления на основании данных, полученных
30 путем эксплуатации одной или более пар передатчиков-приемников инструмента резистивиметрического каротажа.

[0061] В некоторых вариантах реализации изобретения один или более геофизических сигналов генерируются в инструменте резистивиметрического каротажа 300 (например, с помощью одного или более процессоров на инструменте резистивиметрического
35 каротажа 300) на основании сигналов, получаемых передатчиками и приемниками, или геофизические сигналы могут генерироваться снаружи по отношению к инструменту резистивиметрического каротажа 300. Компьютерная система (например, компьютерная подсистема 110 по Фиг. 1А) может иметь доступ к генерируемым геофизическим сигналам и производить расчет расстояния до границы пласта на основании
40 геофизических сигналов. Например, компьютерная система может выполнять способ обратного преобразования, предназначенный для приема множественных геофизических сигналов в качестве входных данных. Способ обратного преобразования может определять расположение одной или более границ подповерхностных слоев и другие характеристики подземной области.

45 [0062] Фиг. 4 представляет собой схему типовой модели подземного пласта 400 для численного моделирования. Типовая модель подземного пласта 400 включает многослойный пласт в подземной области 402 и ось координат 406, которая представляет собой фактическую вертикальную глубину (ФВГ) в подземной области 402. В подземной

области 402, проиллюстрированной на Фиг. 4, каждый из слоев пласта определяет угол падения 405 относительно оси координат 406. Угол падения 405 может составлять, например, восемьдесят градусов или иметь другое значение.

[0063] Типовая модель подземного пласта 400 включает три подповерхностных слоя 408a, 408b, 408c, со средним подповерхностным слоем 408b, находящимся между двумя другими подповерхностными слоями 408a, 408c. В примере, проиллюстрированном на Фиг. 4, средний подповерхностный слой 408b моделируют как имеющий удельное сопротивление $20 \text{ ом} \cdot \text{м}$, и каждый из двух близлежащих приповерхностных слоев 408a, 408c моделируют как имеющий удельное сопротивление $1 \text{ ом} \cdot \text{м}$. Могут быть использованы другие значения удельного сопротивления.

[0064] В примере, проиллюстрированном на Фиг. 4, толщина 410 среднего подповерхностного слоя 408b представлена как H , а глубина 412 точки каротажа 414 представлена как D . В этом случае глубина D представляет собой фактическую вертикальную глубину (ФВГ) точки каротажа 414 в подземной области 402. В некоторых примерах численного моделирования средний подповерхностный слой 408b в модели подземного пласта 400 имеет толщину $H = 1,524 \text{ м}$ (5 футов). В некоторых примерах численного моделирования средний подповерхностный слой 408b в модели подземного пласта 400 имеет толщину $H = 3,048 \text{ м}$ (10 футов). Могут быть использованы другие значения для толщины среднего подповерхностного слоя 408b.

[0065] Некоторые методы обратного преобразования помогают определить расстояние до границы пласта (РДГП) на основании нескольких входных данных геофизического сигнала. В этом случае расстояние до границы пласта обозначает расстояние от точки каротажа 414 в подповерхностном слое 408b до верхней и нижней границ подповерхностного слоя 408b. Некоторые методы обратного преобразования могут дать несколько различных решений на основании только одних входных данных геофизического сигнала. В некоторых случаях использование нескольких геофизических сигналов из одной и той же точки каротажа не уменьшает количество доступных решений.

[0066] Например, неоднозначность нескольких решений расстояния до границы пласта может возникнуть при нахождении точки каротажа 414 в положении, в котором верхний и нижний подповерхностные слои (408a, 408c) обеспечивают одинаковое обратное воздействие на отражение. В качестве конкретного примера, для точки каротажа 414 в вертикальном центре среднего подповерхностного слоя 408b все геофизические сигналы в некоторых случаях равны нулю. В таких случаях воздействия двух близлежащих слоев (например, подповерхностные слои 408a, 408c) нейтрализуют друг друга, и толщина подповерхностного слоя 408b не влияет на отражение для точки каротажа 414.

[0067] Фиг. 5, 6А и 6В иллюстрируют примеры данных на основании численного моделирования с применением модели подземного пласта 400, проиллюстрированной на Фиг. 4, со значениями толщины $H = 1,524 \text{ м}$ (5 футов) и $H = 3,048 \text{ м}$ (10 футов) для среднего подповерхностного слоя 408b. На типовых графиках, проиллюстрированных на Фиг. 5, 6А и 6В, вертикальная ось каждого графика представляет собой диапазон значений для измерения затухания геофизического сигнала в единицах дБ. На типовых графиках, проиллюстрированных на Фиг. 5, 6А и 6В, горизонтальная ось представляет собой диапазон значений для фактической вертикальной глубины точки каротажа в единицах футов. В проиллюстрированном примере фактическую вертикальную глубину измеряют от центра среднего подповерхностного слоя 408b.

[0068] На Фиг. 5, 6А и 6В типовые каротажные измерения удельного сопротивления,

проиллюстрированные на графиках, представляют собой первый бин geo_att (см. уравнение 1 выше), поскольку это значение, как правило, имеет наибольшее отражение при азимутальных измерениях. Хотя в данном описании рассматривают отражение без азимутального вращения, указанные методы могут быть применены к другим типам измерений (например, другие бины, измерения вращений, измерения geo_pha и т. д.).

[0069] Фиг. 5 представляет собой график 500 типовых каротажных измерений удельного сопротивления, произведенных с помощью численного моделирования. На графике 500 кривая 502 с большим радиусом кривизны представляет собой смоделированные измерения затухания геофизического сигнала для ряда точек каротажа в численных моделях с применением значения толщины $H = 1,524$ м (5 футов); кривая 502 с меньшим радиусом кривизны представляет собой смоделированные измерения затухания геофизического сигнала для ряда точек каротажа в численных моделях с применением значения толщины $H = 3,048$ м (10 футов). Кривые 502 и 504 на графике 500 иллюстрируют, что смоделированное измерение затухания геофизического сигнала имеет одинаковое значение (ноль дБ) для точки каротажа в вертикальном центре среднего подповерхностного слоя 408b.

[0070] Поскольку для разных показателей толщины в центре слоя наблюдается одинаковое отражение, каротажное измерение удельного сопротивления вертикального центра ($\text{ФВГ} = 0$) может привести к неоднозначному результату обратного преобразования. Хотя измерения удельного сопротивления имеют одинаковое значение, углы наклона или градиенты двух кривых различны, даже в точке нулевого отражения. Например, градиент кривой можно рассчитать как отношение (а) разности между отражениями на двух разных глубинах и (б) разности между двумя глубинами. Например, когда две разные глубины соответствуют двум близлежащим точкам каротажа "А" и "В", градиент можно рассчитать следующим образом:

$$\Delta\text{geo_att}_{\text{RTI}} = \frac{\text{geosignal}(A) - \text{geosignal}(B)}{\text{TVD}(A) - \text{TVD}(B)} \quad (4)$$

Градиент можно рассчитать иным способом на основании дополнительной или другой информации. Например, градиент можно рассчитать на основании других бинов, других типов измерений геофизического сигнала, других типов информации о глубине и т. д.

[0071] Фиг. 6А и 6В представляют собой графики 600а, 600b типовых каротажных данных об удельном сопротивлении, полученных путем численного моделирования. Каждый из графиков 600а, 600b иллюстрирует в десять раз большее значение градиента по каждой точке на кривых 502, 504 (например, в десять раз больше $\Delta\text{geo_att}$), проиллюстрированных на Фиг. 5. В частности, график 600а на Фиг. 6А включает кривую 502 (по Фиг. 5), представляющую собой каротажные измерения удельного сопротивления на основании численного моделирования, когда значение составляет $H = 1,524$ м (5 футов), и график 600а на Фиг. 6А также включает вертикальные штрихи 606а, представляющие значение градиента, рассчитанное согласно вышеприведенному уравнению (4) для каждой точки каротажа на кривой 502. Аналогично, график 600b на Фиг. 6В включает кривую 504 (по Фиг. 5), представляющую собой каротажные измерения удельного сопротивления на основании численного моделирования, когда значение составляет $H = 3,048$ м (10 футов), и график 600b на Фиг. 6В также включает вертикальные штрихи 606b, представляющие значение градиента, рассчитанное согласно вышеприведенному уравнению (4) для каждой точки каротажа на кривой 504.

[0072] Как проиллюстрировано путем сопоставления вертикальных штрихов 606а,

606b вблизи середины подповерхностного слоя, на нулевой фактической вертикальной глубине (где сигнал отражения равен нулю) значения градиента для толщины $H = 1,524$ м (5 футов) больше значений градиента для толщины $H = 3,048$ м (10 футов). Таким образом, градиент могут применять для устранения неоднозначности и выделения среди решений тех, которые есть в наличии для сигнала нулевого отражения.

[0073] Как проиллюстрировано путем сопоставления вертикальных штрихов 606a, 606b на других глубинах в подповерхностном слое, также имеется другое значение градиента для иной точки каротажа с таким же отражением. Например, обведенная область 608a на Фиг. 6А иллюстрирует, что при $_{\text{geo att}} = 1$ дБ на $H = 1,524$ м (5 футах) десятикратный градиент составляет около -0,10, а обведенная область 608b на Фиг. 6А иллюстрирует, что при $_{\text{geo att}} = 1$ дБ на $H = 3,048$ м (10 футах) десятикратный градиент составляет около -0,08. Соответственно, градиент одного измерения может быть применен для обратного преобразования точного расстояния до границы без нескольких решений.

[0074] В некоторых случаях расстояние до границы пласта может быть определено на основании данного градиента, например, с помощью отображения графика расстояния до границы пласта (РДГП) или другой информации, полученной путем численного моделирования. Например, отображение графика РДГП может включать смоделированные сигналы градиента для диапазона толщины слоя, удельного сопротивления слоя, угла падения слоя и, возможно, другие характеристики. Основанный на измерении сигнал градиента (т. е. значение градиента, произведенное из каротажных измерений) можно сопоставить с набором или базой данных смоделированных сигналов градиента, и может быть выбран смоделированный сигнал градиента, соответствующий основанному на измерении сигналу градиента. Затем расстояние до границы пласта могут определять на основании характеристик моделирования, которые произвели соответствующий смоделированный сигнал градиента.

[0075] Некоторые типовые методы обратного преобразования определяют функцию затрат и выявляют характеристику пласта на основании сведения к минимуму функции затрат. Функция затрат может быть выстроена, например, из разности между необработанными измерениями (или основанными на измерениях данных) и смоделированным результатом, полученным при моделировании. Результат обратного преобразования (например, расстояние до границы пласта или другая характеристика пласта) может быть рассчитан путем сведения к минимуму функции затрат. Оптимизация может быть реализована, например, на основании метода наименьших квадратов, способа Марквардта-Левенберга, способа Гаусса-Ньютона или другого метода. Могут быть применены другие методы обратного преобразования или алгоритмы.

[0076] Фиг. 7 представляет собой блок-схему, иллюстрирующую типовой процесс 700 для определения границ подземных слоев. Некоторые или все из операций в процессе 700 могут быть реализованы посредством одного или более компьютерных устройств. Например, процесс 700 может быть реализован с помощью компьютерной подсистемы 110 по Фиг. 1А, компьютерной системы 200 по Фиг. 2 или другого типа системы. Некоторые или все из операций в процессе 700 могут быть реализованы посредством одного или более компьютерных устройств, встроенных в каротажный инструмент или как-то иначе работающих в связи с ним. Например, процесс 700 может быть реализован в связи с каротажным инструментом 102 по Фиг. 1А, инструментом резистивиметрического каротажа 300 по Фиг. 3 или другим типом инструмента.

[0077] В некоторых вариантах реализации изобретения процесс 700 может включать дополнительные, менее численные или иные операции, выполняемые в порядке,

проиллюстрированном на Фиг. 7, или в другом порядке. Кроме того, одна или более отдельных операций или подмножеств операций в процессе 700 могут выполняться по отдельности или как часть другого процесса. Выходные данные, получаемые с помощью процесса 700, включая выходные данные, получаемые при промежуточных операциях, могут включать хранимую, отображаемую на экране, напечатанную, переданную, 5 сообщенную или обработанную информацию.

[0078] В некоторых вариантах реализации изобретения все или некоторые операции процесса 700 выполняются в режиме реального времени в ходе буровых работ или другого типа работ, выполняемых в скважинной системе. Операцию можно осуществлять 10 в режиме реального времени, например, выполняя данную операцию в ответ на получение данных (например, от датчика или системы мониторинга) без существенной задержки. Операцию можно осуществлять в режиме реального времени, например, выполняя данную операцию во время мониторинга дополнительных данных. При некоторых операциях, выполняемых в режиме реального времени, могут получать 15 входные данные и выдавать выходные данные в ходе буровых работ; в некоторых случаях выходные данные предоставляются в периоды времени, которые позволяют оператору (например, человеку или машинному оператору) ответить на выходные данные, например, путем изменения буровых работ.

[0079] В качестве первоначального этапа (например, перед операцией 702) в некоторых случаях может быть выстроен график расстояния до границы пласта (РДГП) 20 с известным удельным сопротивлением и углами падения. График может содержать, например, смоделированное измерение и градиент смоделированного измерения при различных показателях толщины и фактической вертикальной глубины. Примеры смоделированных измерений и градиентов смоделированных измерений при различных 25 показателях толщины и фактической вертикальной глубины проиллюстрированы на Фиг. 6А и 6В. Такая информация может быть получена при помощи модели подземного пласта, такой как, например, модель подземного пласта 400, проиллюстрированная на Фиг. 4, или другой тип модели.

[0080] В некоторых вариантах реализации изобретения инструмент резистивиметрического каротажа могут размещать в стволе скважины, сформированном 30 в подземной области, содержащей несколько подповерхностных слоев. Например, инструмент резистивиметрического каротажа может представлять собой каротажный инструмент 102, проиллюстрированный на Фиг. 1А. Инструмент резистивиметрического каротажа может транспортироваться буровой компоновкой, компоновкой для 35 кабельного каротажа или другим оборудованием. Инструмент резистивиметрического каротажа может эксплуатироваться на нескольких глубинах размещения инструмента в стволе скважины, и каждая глубина размещения инструмента может представлять новую точку каротажа.

[0081] На этапе 702 получают каротажные данные для нескольких точек каротажа. 40 Например, каждая точка каротажа может представлять собой определенную глубину размещения инструмента в стволе скважины, и каротажные данные можно получать посредством эксплуатации передатчика и приемника (что может включать эксплуатацию нескольких передатчиков и нескольких приемников) инструмента резистивиметрического каротажа на каждой глубине размещения инструмента. В некоторых случаях 45 каротажные данные применяют для получения измерения по каждой глубине размещения инструмента в стволе скважины. Например, первое измерение может быть получено на основании данных, полученных на первой глубине размещения инструмента, а второе измерение может быть получено на основании данных,

полученных на второй глубине размещения инструмента.

[0082] Первая и вторая глубины размещения инструмента могут представлять собой следующие друг за другом точки каротажа или могут быть одна или более других точек каротажа между первой и второй глубинами размещения инструмента. Измерение по каждой глубине размещения инструмента может быть отдельным значением (например, измерение затухания сигнала в единицах дБ, измерение фазы сигнала в единицах градусов или радианов) или несколькими значениями. Например, каротажные измерения удельного сопротивления могут представлять собой любой из множества типов геофизических сигналов. Некоторыми примерами каротажных измерений удельного сопротивления являются геофизические сигналы, рассчитываемые по вышеприведенным формулам (1), (2) и (3); могут применяться другие типы каротажных измерений удельного сопротивления. Некоторые примеры смоделированных измерений проиллюстрированы на Фиг. 5, 6А и 6В.

[0083] В некоторых случаях инструмент резистивиметрического каротажа сначала эксплуатируют на второй глубине размещения инструмента для получения второго набора каротажных данных, и на основании второго набора каротажных данных производится второе каротажное измерение удельного сопротивления. Затем инструмент резистивиметрического каротажа перемещают со второй глубины размещения инструмента на первую глубину размещения инструмента, и инструмент резистивиметрического каротажа эксплуатируют на первой глубине размещения инструмента для получения первого набора каротажных данных. После этого первое каротажное измерение удельного сопротивления могут получить на основании первого набора данных. Каждое из первого и второго каротажных измерений удельного сопротивления может быть получено на основании данных, полученных путем подачи напряжения на передатчик на одной и той же электромагнитной частоте. Например, каждый из первого и второго наборов каротажных данных может соответствовать одной и той же электромагнитной частоте.

[0084] В некоторых случаях первое каротажное измерение удельного сопротивления производится на основании эксплуатации нескольких передатчиков и нескольких приемников, а второе каротажное измерение удельного сопротивления производится на основании эксплуатации тех же передатчиков и приемников. Например, каждое из первого и второго каротажных измерений удельного сопротивления может представлять собой компенсированные измерения на основании эксплуатации нескольких симметричных пар передатчиков-приемников инструмента резистивиметрического каротажа.

[0085] В некоторых случаях первое и второе каротажные измерения удельного сопротивления представляют собой некомпенсированные измерения. Например, первое и второе каротажные измерения удельного сопротивления могут быть получены на основании данных, полученных с помощью одной пары передатчика-приемника пара, эксплуатируемой на разных глубинах в стволе скважины. В некоторых случаях инструмент резистивиметрического каротажа вращается по своей продольной оси во время эксплуатации передатчика и приемника. Первое и второе каротажные измерения удельного сопротивления могут быть получены на основании данных, полученных в одной ориентации или в нескольких ориентациях инструмента резистивиметрического каротажа.

[0086] На этапе 704 рассчитывают градиент через несколько точек каротажа. Данный градиент может быть связан с текущей точкой каротажа или с любой другой точкой каротажа, полученной на этапе 702. Градиент можно рассчитать на основании измерений

по двум соседним точкам каротажа или градиент можно рассчитать на основании измерений по двум не находящимся рядом точкам каротажа. В некоторых случаях градиент, связанный с какой-либо точкой каротажа, производится путем вычитания измерений, связанных с двумя разными глубинами размещения инструмента, и деления на расстояние между двумя разными глубинами размещения инструмента. Например, градиент может быть рассчитан согласно вышеприведенному уравнению (4) или на основании другого уравнения.

[0087] В некоторых случаях градиент рассчитывают на основании более двух точек каротажа. Например, могут использовать три, четыре, пять или больше точек каротажа. Таким образом, градиент, связанный с определенной глубиной размещения инструмента, может быть рассчитан на основании измерения, связанного с данной определенной глубиной размещения инструмента, и аналогичным образом произведенных измерений, связанных с несколькими разными глубинами размещения инструмента.

[0088] На этапе 706 границы подповерхностных слоев определяют по каротажным данным и градиенту, связанным с определенной точкой каротажа. Например, расстояния от текущей точки каротажа до верхнего и нижнего слоев могут быть определены по градиенту и измерению на основании отображения графика РДГП или другого средства анализа. В качестве альтернативы или в дополнение к применению отображения графика РДГП, границы подповерхностных слоев могут быть определены с помощью таблицы преобразования или итерационного кода обратного преобразования.

[0089] В некоторых случаях местоположения границ подповерхностных слоев определяют посредством компьютерного устройства или другого типа устройства для обработки данных, функционирующего в стволе скважины. Например, компьютерное устройство может быть интегрировано (например, конструктивно объединено) с инструментом резистивиметрического каротажа. В некоторых случаях местоположения границ подповерхностных слоев определяют при помощи компьютерного устройства или другого типа устройства для обработки данных, которое функционирует над земной поверхностью, снаружи по отношению к стволу скважины.

[0090] Для обнаружения местоположения границ могут применять любой пригодный метод обратного преобразования. В некоторых случаях обнаруживают верхнюю и нижнюю границы одного подповерхностного слоя. Первая глубина размещения инструмента, вторая глубина размещения инструмента или обе глубины могут находиться между обнаруженными верхней и нижней границами подповерхностного слоя. В некоторых случаях обнаруживают границы нескольких подповерхностных слоев. Например, могут обнаружить верхнюю и нижнюю границы двух, трех, четырех, пяти или более подповерхностных слоев.

[0091] Некоторые варианты реализации объекта изобретения и операций, изложенных в данном описании, могут быть реализованы в компоновке цифровых электронных схем или в компьютерном программном обеспечении, программно-аппаратном или аппаратном обеспечении, включая конструкции, раскрытые в данном описании и их конструктивные эквиваленты, или в комбинациях одного или более из них. Некоторые варианты реализации объекта изобретения и операций, изложенных в данном описании, могут быть реализованы в виде одной или более компьютерных программ, т. е. одного или более модулей команд компьютерной программы, запрограммированных на компьютерном носителе данных для выполнения аппаратным средством для обработки данных или для управления работой этого устройства. Компьютерный носитель данных может представлять собой или может быть включен в машиночитаемое запоминающее устройство, основу машиночитаемого запоминающего устройства, массив или блок

оперативного или последовательного запоминающего устройства или комбинацию одного или более из них. Более того, в то время как компьютерный носитель данных не представляет собой распространяемый сигнал, компьютерный носитель данных может быть источником или конечным назначением компьютерных программных команд, запрограммированных в искусственно создаваемый распространяемый сигнал. Компьютерный носитель данных может также представлять собой или может быть включен в один или более отдельных физических компонентов или носителей (например, несколько компакт-дисков, дисков или других запоминающих устройств).

[0092] Термин "аппаратное средство для обработки данных" охватывает все виды аппаратных средств, устройств и машин для обработки данных, в том числе как пример программируемого процессора, компьютера, системы на микросхеме или нескольких из них, или комбинаций вышеуказанного. Аппаратное средство может содержать специализированные логические схемы, например, FPGA (программируемую логическую матрицу) или ASIC (специализированную интегральную схему). Аппаратное средство может также содержать, в дополнение к аппаратному обеспечению, код, создающий среду выполнения необходимой компьютерной программы, например, код, который представляет собой встроенную программу процессора, пакет протоколов, систему управления базами данных, операционную систему, межплатформенную среду выполнения, виртуальную машину или комбинацию одного или более из них.

Аппаратное средство и среда выполнения могут реализовать различные отличающиеся друг от друга различные инфраструктуры вычислительных моделей, такие как веб-сервисы, распределенные вычислительные инфраструктуры и инфраструктуры сетевых распределенных вычислений.

[0093] Компьютерная программа (также известная как программа, программное обеспечение, программное приложение, сценарий или код) может быть написана в любой форме языка программирования, включая компилируемые или интерпретируемые языки программирования, декларативные или процедурные языки. Компьютерная программа может, но не обязательно, соответствовать файлу в файловой системе. Программа может храниться в части файла, содержащего другие программы или данные (например, один или более сценариев, хранящихся в документе языка разметки), в одном файле, предназначенном для необходимой программы, или в нескольких скоординированных файлах (например, файлах, которые хранят один или более модулей, подпрограмм или частей кода). Компьютерная программа может быть использована для выполнения на одном компьютере или на нескольких компьютерах, расположенных в одном месте или распределенных по нескольким местам и соединенных между собой посредством коммуникационной сети.

[0094] Некоторые процессы и логические потоки, изложенные в данном описании, могут выполняться одним или более программируемых процессоров, выполняющих одну или более компьютерных программ для совершения действий путем функционирования на основании входных данных и получения выходных данных. Процессы и логические потоки также могут быть выполнены, и аппаратные средства также могут быть реализованы, в виде специализированных логических схем, например, FPGA (программируемой логической матрицы) или ASIC (специализированной интегральной схемы).

[0095] Процессоры, пригодные для выполнения компьютерной программы, включают, в качестве примера, микропроцессоры как общего, так и специального назначения, и процессоры любого вида цифрового компьютера. Как правило, процессор будет получать команды и данные от постоянного запоминающего устройства или

оперативного запоминающего устройства, или обоих. Компьютер содержит процессор для выполнения действий в соответствии с командами и одно или более запоминающих устройств для хранения команд и данных. Компьютер может также содержать, или быть функционально соединенным для получения данных от или передачи данных, или и того, и другого, одно или более запоминающих устройств большой емкости для хранения данных, например, магнитные, магнитно-оптические диски, CD-ROM или DVD-ROM диски. Однако компьютер не обязательно должен содержать такие устройства. Устройства, пригодные для хранения компьютерных программных команд и данных, включают все виды энергонезависимых запоминающих устройств, носителей и запоминающих устройств, включая, в качестве примера, полупроводниковые запоминающие устройства (например, СППЗУ, ЭСППЗУ, устройства с флэш-памятью и т. д.), магнитные диски (например, внутренние жесткие диски, съемные диски и т. д.), магнитно-оптические диски, а также КД-ПЗУ и ПЗУ на цифровых видеодисках. Процессор и запоминающее устройство могут быть дополнены специализированными логическими схемами или входить в них.

[0096] Чтобы обеспечить взаимодействие с пользователем, операции могут быть реализованы на компьютере, содержащем устройство отображения (например, монитор или другой тип устройства отображения) для отображения информации для пользователя, а также клавиатуру и указывающее устройство (например, мышь, шаровой манипулятор, планшет, сенсорный экран или иной тип указывающего устройства), с помощью которых пользователь может вводить в компьютер входные данные. Для обеспечения взаимодействия с пользователем могут быть использованы другие виды устройств; например, обратная связь, предоставляемая пользователю, может представлять собой любой вид сенсорной обратной связи, например, визуальной обратной связи, звуковой обратной связи или тактильной обратной связи; и входные данные от пользователя могут быть получены в любом виде, включая звуковые, речевые или тактильные входные данные. Кроме того, компьютер может взаимодействовать с пользователем путем отправки документов и получения документов от устройства, используемого пользователем; например, путем отправки веб-страниц на веб-браузер в клиентском устройстве пользователя в ответ на запросы, получаемые от веб-браузера.

[0097] Клиент и сервер, как правило, удалены друг от друга и, как правило, взаимодействуют через коммуникационную сеть. Примеры коммуникационных сетей включают локальную сеть ("LAN") и глобальную сеть ("WAN"), общедоступную сеть (например, Интернет), сеть, содержащую спутниковую связь, и одноранговые сети (например, специализированные одноранговые сети). Взаимосвязь клиента и сервера возникает за счет выполнения компьютерных программ на соответствующих компьютерах и наличия взаимосвязи клиента и сервера.

[0098] В одном общем аспекте границы подповерхностных слоев определяют на основании разностей между измерениями, связанными с несколькими различными глубинами размещения инструмента резистивиметрического каротажа.

[0099] В некоторых аспектах доступны первое и второе каротажные измерения удельного сопротивления. Первое каротажное измерение удельного сопротивления связано с первой глубиной размещения инструмента в стволе скважины, сформированном в подземной области, содержащей несколько подповерхностных слоев. Первое каротажное измерение удельного сопротивления производится на основании эксплуатации передатчика и приемника инструмента резистивиметрического каротажа, тогда как инструмент резистивиметрического каротажа находится на первой глубине размещения инструмента в стволе скважины. Градиент, связанный с первой

глубиной размещения инструмента, рассчитывают по первому каротажному измерению удельного сопротивления и второму каротажному измерению удельного сопротивления. Второе каротажное измерение удельного сопротивления производится на основании эксплуатации передатчика и приемника, тогда как инструмент резистивиметрического каротажа находится на второй, иной глубине размещения инструмента в стволе скважины. Местоположение границ одного или более подповерхностных слоев определяют на основании градиента и первого каротажного измерения удельного сопротивления.

[0100] Варианты реализации этих и других аспектов могут включать один или более из следующих признаков. Первое каротажное измерение удельного сопротивления производится на основании эксплуатации нескольких передатчиков и нескольких приемников инструмента резистивиметрического каротажа, тогда как инструмент резистивиметрического каротажа находится на первой глубине размещения инструмента. Второе каротажное измерение удельного сопротивления производится на основании эксплуатации тех же самых передатчиков и приемников инструмента резистивиметрического каротажа, тогда как инструмент резистивиметрического каротажа находится на второй глубине размещения инструмента. Первое и второе каротажные измерения удельного сопротивления являются компенсированными измерениями, произведенными на основании данных, которые собраны несколькими симметричными парами передатчиков-приемников инструмента резистивиметрического каротажа.

[0101] Дополнительно или в качестве альтернативы, варианты реализации этих и других аспектов могут включать один или более из следующих признаков. Первое и второе каротажные измерения удельного сопротивления являются некомпенсированными измерениями, произведенными на основании данных, которые собраны одной парой передатчика-приемника. Каждое из первого и второго каротажных измерений удельного сопротивления производится на основании данных, полученных путем подачи напряжения на передатчик на одной и той же электромагнитной частоте.

[0102] Дополнительно или в качестве альтернативы, варианты реализации этих и других аспектов могут включать один или более из следующих признаков. Первое и второе каротажные измерения удельного сопротивления производятся на основании фазы или амплитуды (или обеих) электромагнитного сигнала, который обнаруживает приемник, в то время как на передатчик подается напряжение с определенной электромагнитной частотой. Эксплуатация передатчика и приемника включает вращение инструмента резистивиметрического каротажа вокруг продольной оси инструмента резистивиметрического каротажа. Каждое из первого и второго каротажных измерений удельного сопротивления производится на основании данных, полученных в одной ориентации или в нескольких ориентациях инструмента резистивиметрического каротажа.

[0103] Дополнительно или в качестве альтернативы, варианты реализации этих и других аспектов могут включать один или более из следующих признаков. Местоположения верхней и нижней границ отдельного подповерхностного слоя определяют на основании градиента и первого каротажного измерения удельного сопротивления. Первая глубина размещения инструмента находится между верхней и нижней границами отдельного подповерхностного слоя. Обнаружение местоположений границ включает определение расстояния до одной или более подповерхностных границ от первой глубины размещения инструмента. Обнаружение местоположений границ включает выполнение анализа расстояния до границы пласта. Обнаружение

местоположений границ включает обеспечение градиента и первого каротажного измерения удельного сопротивления в качестве входных данных для устройства обратного преобразования и получение информации о местоположении границ в качестве выходных данных из устройства обратного преобразования.

- 5 [0104] В некоторых аспектах система резистивиметрического каротажа содержит компьютерную систему, выполненную с возможностью определять местоположения границ подповерхностного слоя в подземной области. Местоположения границ определяют на основании первого каротажного измерения удельного сопротивления, связанного с первой глубиной размещения инструмента в стволе скважины,
 10 определенном в подземной области. Первое каротажное измерение удельного сопротивления производится на основании эксплуатации передатчика и приемника инструмента резистивиметрического каротажа, тогда как инструмент резистивиметрического каротажа находится на первой глубине размещения инструмента. Местоположения границ определяют на основании градиента, связанного с первой
 15 глубиной размещения инструмента. Градиент рассчитывают по первому каротажному измерению удельного сопротивления и второму каротажному измерению удельного сопротивления. Второе каротажное измерение удельного сопротивления производится на основании эксплуатации передатчика и приемника, тогда как инструмент резистивиметрического каротажа находится на второй, иной глубине размещения
 20 инструмента в стволе скважины.

[0105] Варианты реализации этих и других аспектов могут включать один или более из следующих признаков. Система резистивиметрического каротажа содержит инструмент резистивиметрического каротажа. Инструмент резистивиметрического каротажа содержит корпус инструмента, который определяет продольную ось
 25 инструмента резистивиметрического каротажа, при этом антенны передатчика размещены в нескольких местах вдоль продольной оси, и антенны приемника размещены в нескольких местах вдоль продольной оси. Местоположение исходной точки на инструменте резистивиметрического каротажа определяет глубину размещения инструмента в стволе скважины.

- 30 [0106] Дополнительно или в качестве альтернативы, варианты реализации этих и других аспектов могут включать один или более из следующих признаков. Инструмент резистивиметрического каротажа выполнен с возможностью собирать первый набор данных во время эксплуатации на первой глубине размещения инструмента, получать первое каротажное измерение удельного сопротивления на основании первого набора
 35 данных, собирать второй набор данных во время эксплуатации на второй глубине размещения инструмента, получать второе каротажное измерение удельного сопротивления на основании второго набора данных и передавать первое и второе каротажные измерения удельного сопротивления компьютерной системе. Инструмент резистивиметрического каротажа выполнен с возможностью собирать данные от
 40 передатчика и приемника путем обнаружения ответного электромагнитного сигнала на приемнике при подаче электромагнитной частоты на передатчик.

[0107] Дополнительно или в качестве альтернативы, варианты реализации этих и других аспектов могут включать один или более из следующих признаков. Компьютерная система выполнена с возможностью получать первое и второе
 45 каротажные измерения удельного сопротивления от инструмента резистивиметрического каротажа, вычислять градиент на основании первого и второго каротажных измерений удельного сопротивления, а также создавать выходную информацию с указанием местоположений границ подповерхностного слоя. Градиент рассчитывают на основании

соотношения (i) разности между первым и вторым каротажными измерениями удельного сопротивления и (ii) расстояния между первой и второй глубинами размещения инструмента.

[0108] Дополнительно или в качестве альтернативы, варианты реализации этих и других аспектов могут включать один или более из следующих признаков.

Компьютерная система выполнена с возможностью обнаруживать местоположения границ пласта в режиме реального времени в ходе буровых работ или работ, связанных с кабельным каротажом. Компьютерная система встроена в инструмент резистивиметрического каротажа, и компьютерная система выполнена с возможностью функционировать во время размещения в стволе скважины.

[0109] Некоторые варианты реализации этих и других аспектов могут обеспечить одно или более из следующих преимуществ, по меньшей мере в некоторых случаях эксплуатации. По сравнению с некоторыми традиционными способами обратного преобразования, методы, описанные в данном документе, могут в некоторых случаях помочь выбрать из множества имеющихся в наличии решений, когда на точку каротажа оказывают воздействие обратного преобразования верхний и нижний слои. Методы, описанные в данном документе, могут в некоторых случаях обеспечить более точный результат обратного преобразования на основании низкой мощности сигнала или даже когда для заданной точки каротажа имеется только один геофизический сигнал. Методы, описанные в данном документе, могут в некоторых случаях обеспечить быстрый и надежный результат обратного преобразования относительно расстояния до границ пласта (РДГП) с направленным инструментом резистивиметрического каротажа. Соответственно, предложения в отношении геонавигации и другие типы информации могут быть сформированы на основании меньшего количества измерений, меньшего объема передаваемых данных, меньшего количества вычислений данных и т. д.

[0110] Хотя данное описание содержит много подробностей, их не следует рассматривать как ограничения объема того, что может быть заявлено в формуле изобретения, а, скорее, следует считать описанием признаков, характерных для конкретных примеров. Некоторые признаки, изложенные в данном описании в контексте отдельных вариантов реализации изобретения, также могут быть объединены. И наоборот, различные признаки, которые описаны в контексте отдельного варианта реализации изобретения, могут также быть реализованы в нескольких вариантах реализации изобретения отдельно или в любой пригодной подкомбинации.

[0111] Был описан ряд вариантов реализации изобретения. Тем не менее, понятно, что могут быть внесены различные изменения. Соответственно, другие варианты реализации изобретения находятся в пределах объема следующей формулы изобретения.

Формула изобретения

1. Способ обнаружения местоположений границ подповерхностного слоя, включающий: получение доступа к первому измерению, произведенному на основании эксплуатации передатчика и приемника инструмента резистивиметрического каротажа на первой глубине размещения инструмента в стволе скважины, определенной в подземной области, которая содержит несколько подповерхностных слоев; расчет градиента, связанного с первой глубиной размещения инструмента, при этом градиент рассчитывается по первому измерению и второму измерению, при этом второе измерение производится на основании эксплуатации передатчика и приемника инструмента резистивиметрического каротажа на второй, другой глубине размещения инструмента в стволе скважины; и определение, путем эксплуатации устройства для обработки

данных, местоположения границ одного или более подповерхностных слоев на основании указанного градиента и первого измерения, связанного с первой глубиной размещения инструмента.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что первое измерение производится на основании эксплуатации нескольких передатчиков и нескольких приемников инструмента резистивиметрического каротажа на первой глубине размещения инструмента, при этом второе измерение производится на основании эксплуатации тех же передатчиков и приемников инструмента резистивиметрического каротажа на второй глубине размещения инструмента.

3. Способ по п. 2, отличающийся тем, что каждое из первого и второго измерений представляет собой измерения, полученные на основании данных, которые получены несколькими симметричными парами передатчиков-приемников инструмента резистивиметрического каротажа.

4. Способ по п. 1, отличающийся тем, что каждое из первого и второго измерений представляет собой измерения, полученные на основании данных, которые получены одной парой передатчика-приемника.

5. Способ по п. 1, отличающийся тем, что каждое из первого и второго измерений производится на основании данных, полученных путем возбуждения передатчика на одной и той же электромагнитной частоте.

6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что каждое из первого и второго измерений производится на основании по меньшей мере одного из следующего: фазы или амплитуды электромагнитного сигнала, обнаруженного приемником, в то время как передатчик возбуждается на определенной электромагнитной частоте.

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что эксплуатация передатчика и приемника включает вращение инструмента резистивиметрического каротажа вокруг продольной оси инструмента резистивиметрического каротажа, а каждое из первого и второго измерений основано на данных, полученных по нескольким заданным ориентациям инструмента резистивиметрического каротажа.

8. Способ по п. 1, включающий обнаружение местоположений верхней и нижней границ отдельного подповерхностного слоя на основании градиента и первого измерения, при этом первая глубина размещения инструмента находится между верхней и нижней границами отдельного подповерхностного слоя.

9. Способ по п. 1, дополнительно включающий: эксплуатацию инструмента резистивиметрического каротажа на второй глубине размещения инструмента для получения второго набора данных; производство второго измерения на основании второго набора данных; перемещение инструмента резистивиметрического каротажа со второй глубины размещения инструмента на первую глубину размещения инструмента; эксплуатацию инструмента резистивиметрического каротажа на первой глубине размещения инструмента для получения первого набора данных; производство первого измерения на основании первого набора данных; и расчет градиента на основании соотношения (i) разности между первым и вторым измерениями и (ii) расстояния между первой и второй глубинами размещения инструмента.

10. Энергонезависимый машиночитаемый носитель, запрограммированный программными командами так, что при выполнении их устройством для обработки данных выполняют операции, включающие: определение расположений границ подповерхностного слоя в подземной области на основании:

первого измерения, связанного с первой глубиной размещения инструмента в стволе скважины, определенной в подземной области, при этом первое измерение производится

на основании эксплуатации передатчика и приемника инструмента резистивиметрического каротажа на первой глубине размещения инструмента; и градиента, связанного с первой глубиной размещения инструмента, при этом градиент рассчитывается по первому измерению и второму измерению, при этом второе измерение производится на основании эксплуатации передатчика и приемника инструмента резистивиметрического каротажа на второй, другой глубине размещения инструмента в стволе скважины.

11. Машиночитаемый носитель по п. 10, отличающийся тем, что обнаружение местоположений границ включает выполнение анализа расстояния до границы пласта.

12. Машиночитаемый носитель по п. 10, отличающийся тем, что обнаружение местоположений границ включает: обеспечение градиентом и первым измерением в качестве входных данных для устройства обратного преобразования; и получение информации о местоположении границ в качестве выходных данных из устройства обратного преобразования.

13. Система резистивиметрического каротажа, содержащая: компьютерную систему, выполненную с возможностью:

получать информацию, полученную инструментом резистивиметрического каротажа, размещенным в стволе скважины, определенной в подземной области; и

обнаруживать местоположения границ подповерхностного слоя в подземной области на основании:

первого измерения, производимого на основании эксплуатации передатчика и приемника инструмента резистивиметрического каротажа на первой глубине размещения инструмента в стволе скважины; и градиента, рассчитанного по первому измерению и второму измерению, при этом второе измерение производится на основании

эксплуатации передатчика и приемника инструмента резистивиметрического каротажа на второй, другой глубине размещения инструмента в стволе скважины.

14. Система по п. 13, дополнительно содержащая инструмент резистивиметрического каротажа, при этом инструмент резистивиметрического каротажа содержит: корпус инструмента, который определяет продольную ось инструмента резистивиметрического каротажа; антенны передатчика, размещенные в нескольких местах вдоль продольной оси; и антенны приемника, размещенные в нескольких местах вдоль продольной оси.

15. Система по п. 14, отличающаяся тем, что расположение исходной точки на инструменте резистивиметрического каротажа определяет глубину размещения инструмента в стволе скважины.

16. Система по п. 14, отличающаяся тем, что инструмент резистивиметрического каротажа выполнен с возможностью: получения первого набора данных во время эксплуатации на первой глубине размещения инструмента; производства первого измерения на основании первого набора данных; получения второго набора данных во время эксплуатации на второй глубине размещения инструмента; производства второго измерения на основании второго набора данных; и предоставления первого и второго измерений компьютерной системе.

17. Система по п. 16, отличающаяся тем, что компьютерная система выполнена с возможностью: доступа к первому и второму измерениям, предоставленным инструментом резистивиметрического каротажа; вычисления градиента на основании первого и второго измерений; и производства выходной информации с указанием местоположений границ подповерхностного слоя.

18. Система по п. 13, отличающаяся тем, что инструмент резистивиметрического каротажа выполнен с возможностью получения данных от передатчика и приемника

путем обнаружения ответного электромагнитного сигнала на приемнике при подаче электромагнитной частоты на передатчик.

19. Система по п. 13, отличающаяся тем, что компьютерная система выполнена с возможностью обнаруживать местоположения границ пласта в режиме реального времени в ходе буровых работ или работ, связанных с кабельным каротажем.

20. Система по п. 13, отличающаяся тем, что компьютерная система встроена в инструмент резистивиметрического каротажа, и компьютерная система выполнена с возможностью функционировать во время размещения в стволе скважины.

10

15

20

25

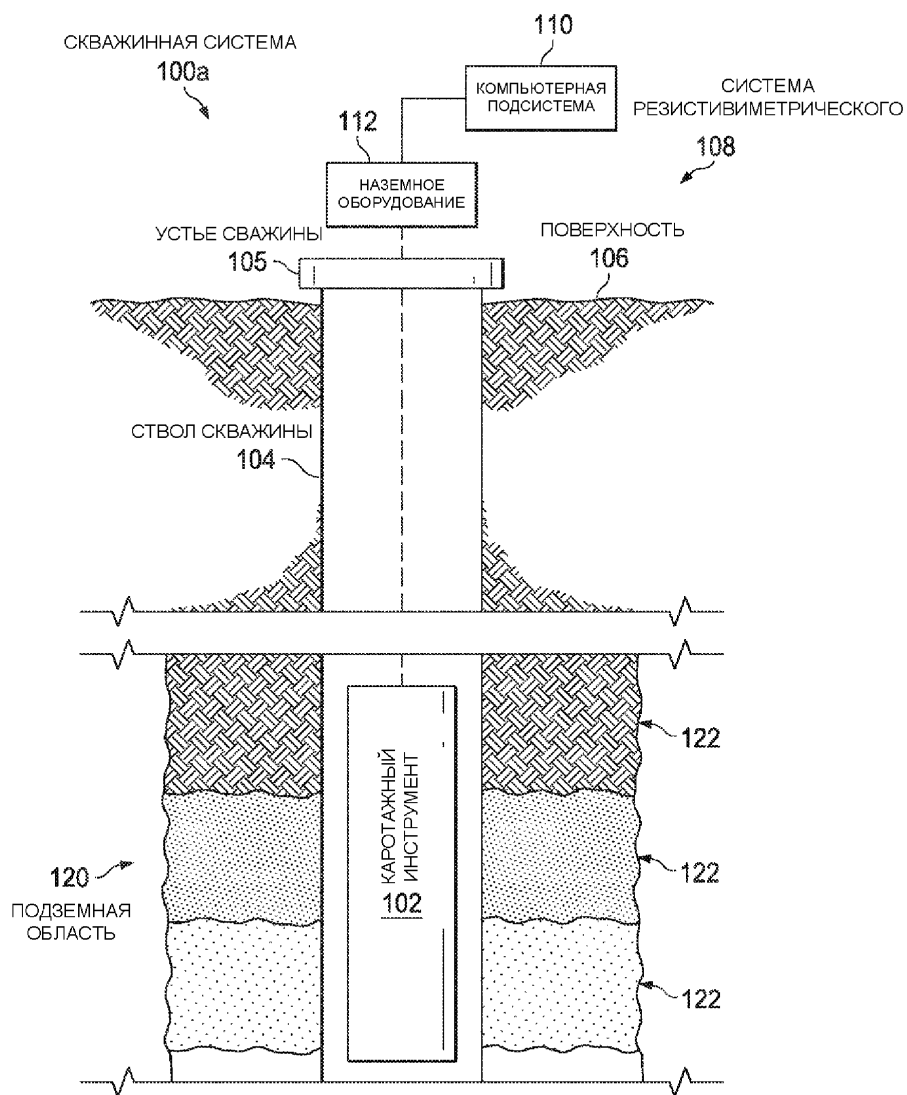
30

35

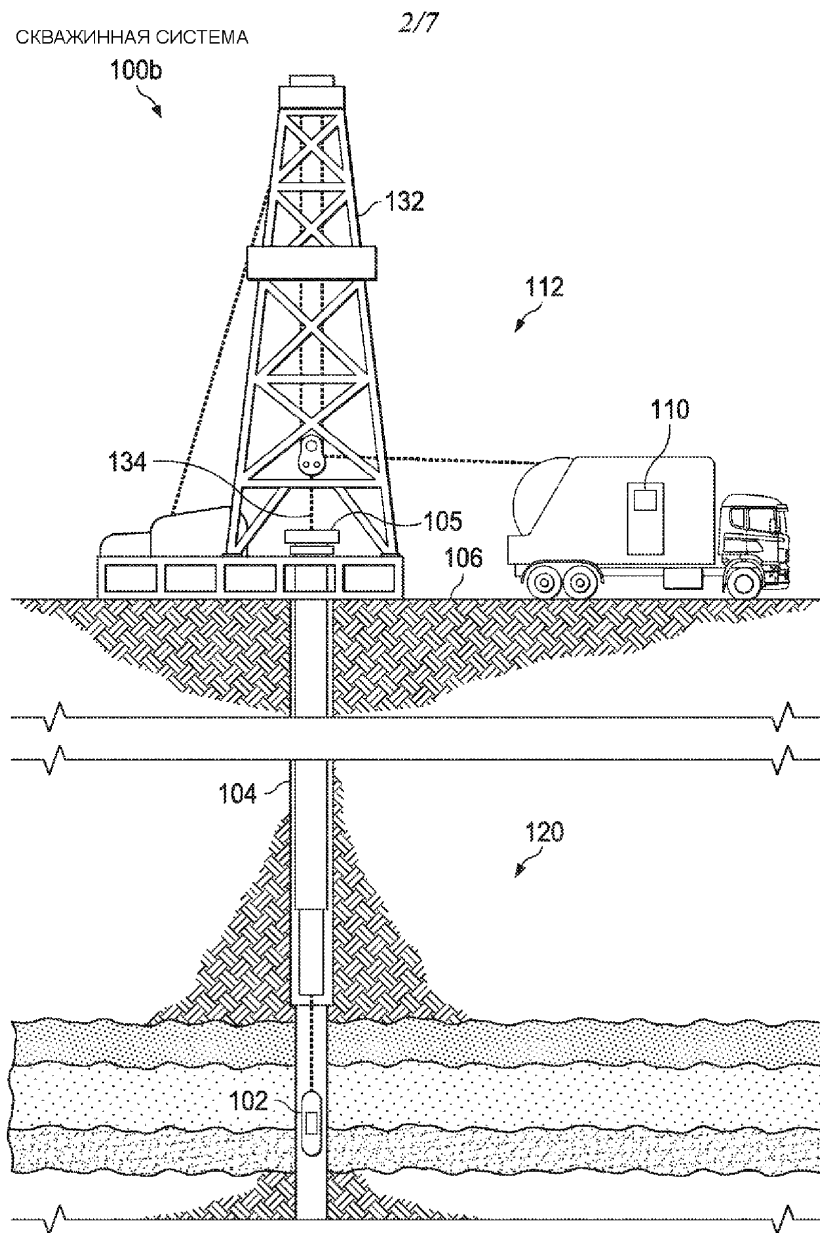
40

45

1/7

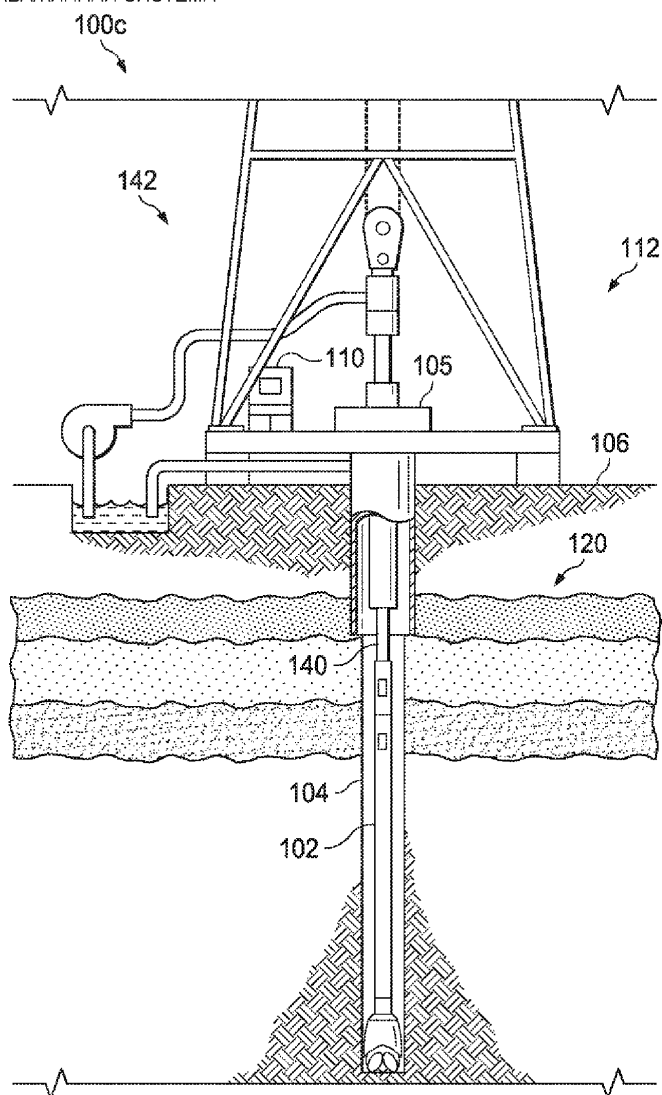


ФИГ. 1А



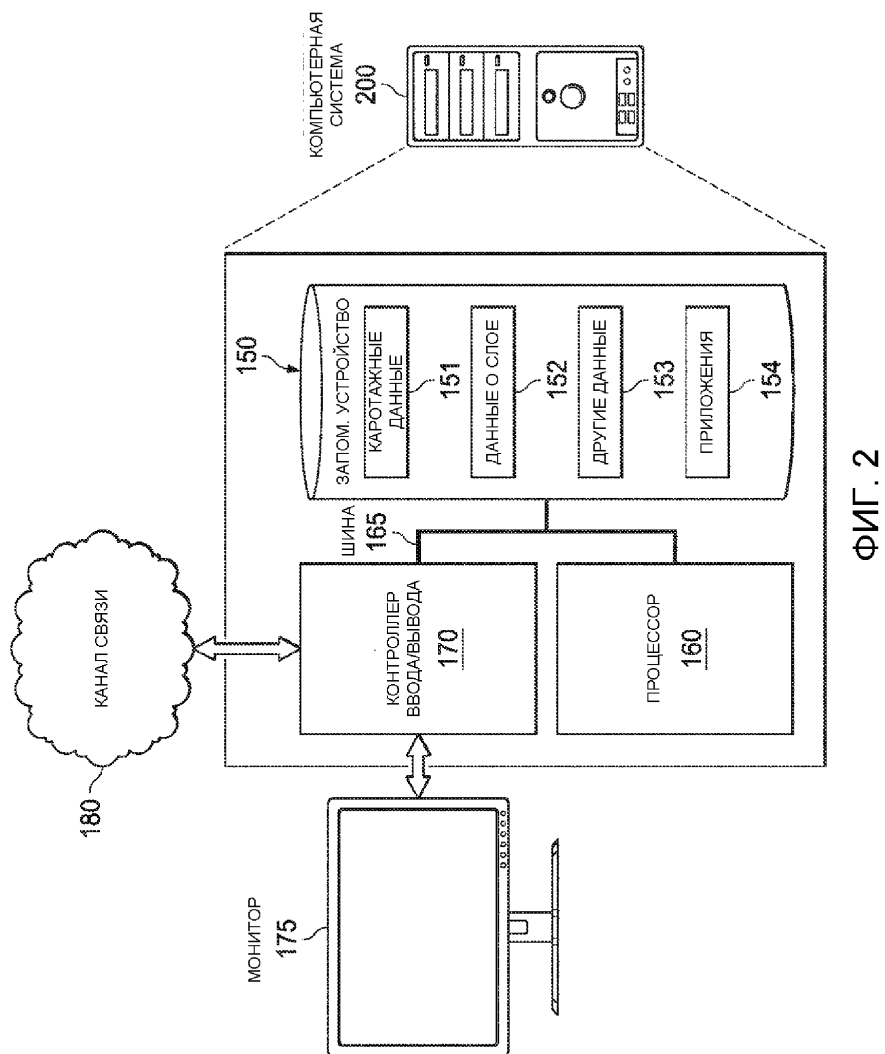
3/7

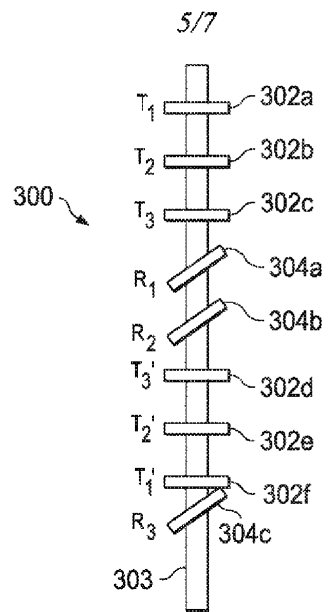
СКВАЖИННАЯ СИСТЕМА



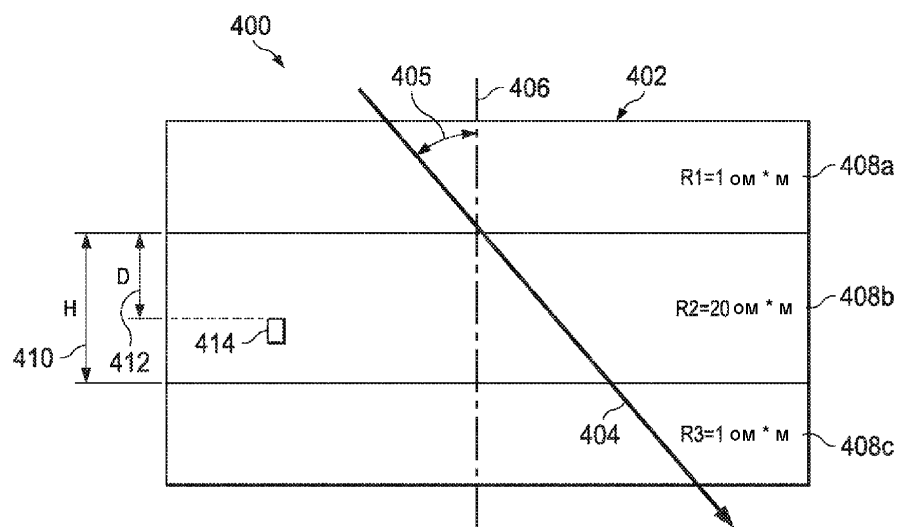
ФИГ. 1С

4/7

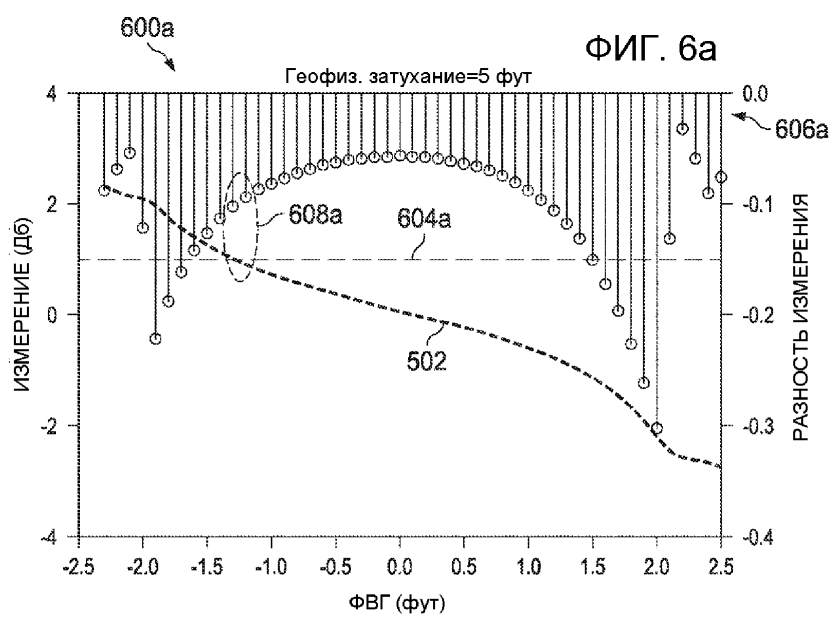
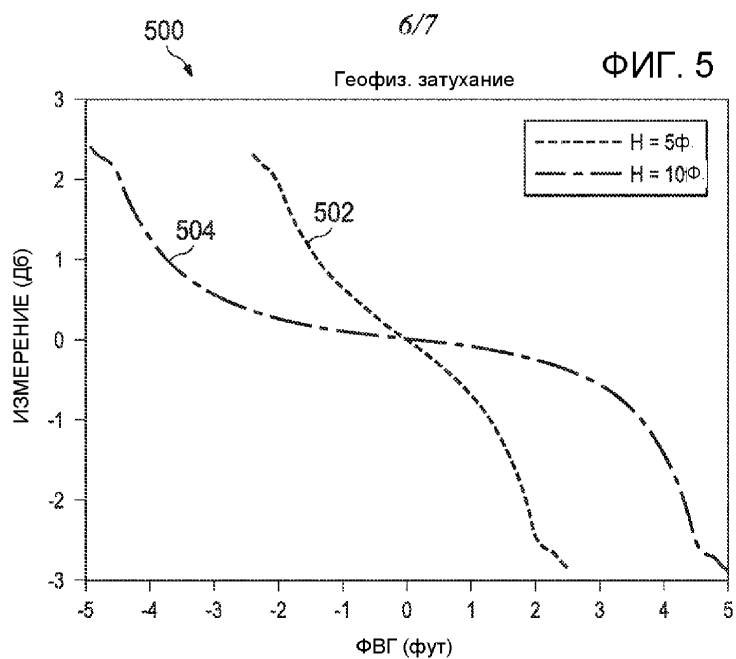




ФИГ. 3



ФИГ. 4



7/7

