

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **040297**

(13) **B1**

(12) **ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

(45) Дата публикации и выдачи патента
2022.05.18

(21) Номер заявки
201891846

(22) Дата подачи заявки
2016.04.21

(51) Int. Cl. **E21B 47/00** (2012.01)
G01V 3/18 (2006.01)
G01V 3/28 (2006.01)

(54) **СПОСОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ДАЛЬНОМЕТРИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИБОРА С ВРАЩАЮЩЕЙСЯ РАМОЧНОЙ АНТЕННОЙ**

(43) **2019.04.30**

(86) **PCT/US2016/028636**

(87) **WO 2017/184145 2017.10.26**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ХАЛЛИБЕРТОН ЭНЕРДЖИ
СЕРВИСЕЗ, ИНК. (US)**

(56) **WO-A1-2015047865
WO-A1-2014066146
US-A1-20150346381
US-A1-20120109527
US-A-5589775**

(72) Изобретатель:
**Ахмади Калатех Ахмад Акрам,
Дондерыджи Буркай (US)**

(74) Представитель:
**Липатова И.И., Новоселова С.В.,
Хмара М.В., Пантелеев А.С., Ильмер
Е.Г., Осипов К.В. (RU)**

(57) Устройство с вращающейся рамочной антенной содержит передающую катушку и приемную катушку, которые используются для измерения расстояния до целевой скважины. Передающая катушка передает первый электромагнитный сигнал, а приемная катушка принимает второй электромагнитный сигнал. По меньшей мере одно из следующего: передающая катушка или приемная катушка вращается при передаче или приеме соответствующих им сигналов. Приемную катушку блокируют от приема первого электромагнитного сигнала. Относительное расстояние и/или направление на целевую скважину определяют на основании второго электромагнитного сигнала.

В1

040297

040297
В1

Уровень техники

Для множества областей применения при бурении скважин требуется точное и эффективное определение относительного расположения и направления проводящей трубы (например, металлической обсадной трубы). Например, обычно требуется определить относительное расстояние и направление к открыто фонтанирующей скважине (т.е. целевой скважине), когда для прекращения фонтанирования нужно с высокой степенью точности обеспечить пересечение целевой скважины разгрузочной скважиной. Другие области применения включают в себя бурение скважины, параллельной существующей скважине, в системах гравитационного дренирования при закачке пара (ГДЗП) и трассировании траектории при подземном бурении с использованием в качестве ориентира проходящей над землей проводящей металлической трубы.

Существуют различные способы измерения дальности до целевой скважины. В одном способе путем передачи электромагнитных (ЭМ) волн через рамочные антенны на целевой обсадной колонне навивается ток. Этот наведенный ток, в свою очередь, вызывает распространение обсадной колонной вторичного электромагнитного поля. Амплитуда этого вторичного поля может использоваться для определения расстояния до целевой обсадной колонны. Вместе с тем передаваемый ЭМ-сигнал может создавать помехи при приеме вторичного ЭМ-сигнала на приемнике.

Краткое описание графических материалов

На фиг. 1 проиллюстрирована схема, поясняющая пример дальномерной системы, содержащей прибор с вращающейся рамочной антенной в соответствии с аспектами настоящего изобретения.

На фиг. 2 проиллюстрирована диаграмма, на которой показано магнитное поле катушки, через которую протекает ток, и эквивалентный магнитный диполь в соответствии с аспектами настоящего изобретения.

На фиг. 3 проиллюстрирована блок-схема способа ЭМ-дальнометрии в соответствии с аспектами настоящего изобретения.

На фиг. 4 проиллюстрирована блок-схема способа ЭМ-дальнометрии с использованием двухкоординатной конфигурации (X-Y) антенного прибора в соответствии с аспектами настоящего изобретения.

На фиг. 5 проиллюстрирована блок-схема способа ЭМ-дальнометрии с использованием прибора с вращающейся рамочной антенной с компенсирующим приемником и передатчиком в соответствии с аспектами настоящего изобретения.

На фиг. 6 проиллюстрированы графики сигнала в приемнике с T_x , вращающимся вокруг оси z для передачи сигналов под разными азимутальными углами, и R_x под одним азимутальным углом вдоль оси y в соответствии с аспектами настоящего изобретения.

На фиг. 7 проиллюстрированы графики сигнала в приемнике с T_x и R_x , вращающимися вокруг оси z для передачи сигналов под множеством азимутальных углов в соответствии с аспектами настоящего изобретения.

На фиг. 8 проиллюстрированы графики сигналов, полученных от системы с T_x и R_x в двухкоординатной конфигурации (X-Y) и вращающихся одновременно, в соответствии с аспектами настоящего изобретения.

На фиг. 9 проиллюстрирован график вычисленных расстояний и действительных расстояний с T_x и R_x в двухкоординатной конфигурации (X-Y) в соответствии с аспектами настоящего изобретения.

На фиг. 10 проиллюстрирована схема буровой системы в соответствии с аспектами настоящего изобретения.

На фиг. 11 проиллюстрирована схема каротажной системы в соответствии с аспектами настоящего изобретения.

На фиг. 12 проиллюстрирована структурная схема примерной системы, выполненной с возможностью реализации этапов нескольких способов, в соответствии с различными аспектами настоящего изобретения.

Подробное описание сущности изобретения

Многие примеры, описанные в настоящей заявке, предназначены для предоставления информации, которая помогает при определении относительного расстояния и направления от одной скважины, например бурящейся скважины, к другой скважине. Например, ортогональная конфигурация T_x/R_x с использованием источника с вращающейся рамочной антенной может использоваться для устранения помех более сильного прямого ЭМ-сигнала от передатчика к приемнику при определении местоположения целевой скважины относительно опорной скважины, и, таким образом, повышается точность операции измерения дальности. Приемная катушка может быть нечувствительной к прямому ЭМ-сигналу (например, заблокирована) посредством других способов. Приведенные примеры могут использоваться для скважинной дальнометрии с ожидаемым и фиксированным интервалом между скважинами, пересечением скважин или предотвращением пересечения скважин.

"Целевая скважина" может определяться как скважина, местоположение которой должно использоваться как точка отсчета для другой скважины. Другая скважина будет определяться как "опорная скважина". В других вариантах реализации изобретения данная терминология может использоваться в противоположном значении, поскольку варианты реализации изобретения не ограничиваются отдельно взя-

той целевой скважиной и отдельно взятой опорной скважиной.

Вращение антенной катушки, обсуждаемое ниже, может осуществляться посредством различных способов. Например, антенные катушки могут физически вращаться путем вращения прибора, в котором расположены катушки, или посредством какого-либо механизма для физического вращения внутри прибора только катушек. В другом примере электромагнитные сигналы от катушек могут быть искусственно вращаемыми, в то время как катушки остаются физически неподвижными. Таким образом, в контексте данной заявки, вращающаяся катушка может относиться к физически вращающейся катушке для создания вращающегося ЭМ-сигнала или искусственно вращающемуся электромагнитному сигналу. В качестве одного примера передающая и приемная катушки могут вращаться одновременно посредством их установки на независимо движущихся секциях компоновки низа буровой колонны (КНБК), причем независимо регулируемый угол наклона секций должен быть одинаковым. В другом примере передающая и приемная катушки могут быть установлены на одной и той же секции КНБК так, чтобы они естественным образом перемещались одновременно. Они также могут электрически/искусственно вращаться в случае двухосных или трехосных совмещенных катушек путем регулирования веса каждой антенны в наборе совмещенных катушек.

На фиг. 1 проиллюстрирована схема, поясняющая пример дальномерной системы, содержащей прибор с вращающейся рамочной антенной в соответствии с аспектами настоящего изобретения. На данном чертеже проиллюстрировано поперечное сечение пласта, содержащего целевую скважину 101 вдоль оси x и приближающуюся вдоль оси z бурящаяся скважина 100. Бурение бурящейся скважины 100 осуществляют посредством буровой колонны с буровым долотом 130, которая содержит прибор, содержащий передающую катушку 110 (т.е. передатчик) и по меньшей мере одну приемную катушку 120, 121 (т.е. приемник). Один пример буровых работ с использованием буровой колонны проиллюстрирован на фиг. 10 и описан ниже. Несмотря на то, что на фиг. 1 проиллюстрированы два приемника 120, 121, другие примеры не ограничиваются данным числом.

Целевая скважина 101, основная ось которой находится в направлении x , находится на расстоянии R от передающей катушки 110. Передатчик 110 и приемники 120, 121 расположены друг от друга на заданном фиксированном расстоянии dTR . ЭМ-сигнал от передающей катушки 110 проиллюстрирован как передаваемый перпендикулярно к ориентации приемных катушек 120, 121. Например, сигнал T_x ЭМ ($\hat{m} = \hat{x}$) проиллюстрирован как передаваемый вдоль оси x , в то время как приемные катушки 120, 121 проиллюстрированы как принимающие ЭМ-сигнал от целевой скважины вдоль оси y ($\hat{m} = \hat{y}$).

Эта ортогональная ориентация приводится исключительно с целью иллюстрации, поскольку, как описано ниже, с помощью других ориентаций T_x/R_x возможно достичь уменьшения или устранения прямого ЭМ-сигнала от передающей катушки 110 к приемным катушкам 120, 121.

Чтобы укрепить конструкцию скважины и предотвратить обрушение стенок ствола скважины, стволы скважин обычно обсаживают металлическими обсадными колоннами (например, стальными). Поскольку обсадные колонны имеют более высокую проводимость по сравнению с пластом вокруг нее, происходит сильное взаимодействие электрического поля с целевой трубой. Это взаимодействие электрического поля создает ток проводимости на целевой трубе. Затем этот ток наводит вокруг трубы магнитное поле, величина которого может быть найдена по закону Био-Савара. В случае, когда наведенный ток постоянный, закон Био-Савара сводится к закону Ампера. В практических ситуациях ток, наведенный на трубе, не является постоянным, но для целей настоящих примеров предполагается, что магнитное поле в точке \vec{r} будет

$$\vec{H}^i(\vec{r}) = \frac{I_{eff}}{2\pi R} \hat{\phi} \quad (1)$$

где I_{eff} - эффективный ток, значение которого не важно для настоящего обсуждения, а

R - радиальное расстояние от целевой скважины до точки \vec{r} .

В системе на фиг. 1 приемные рамочные антенны 120, 121 имеют магнитный диполь в определенном направлении, и, следовательно, они чувствительны только к компоненте магнитного поля в данном направлении. Данную характеристику магнитного поля используют в настоящих примерах для устранения прямого сигнала между передатчиком и приемником при определении местоположения целевой скважины относительно опорной скважины. В обычных системах прямой сигнал от передатчика к приемнику может приводить к воздействию помех на принятый сигнал и, таким образом, к снижению точности измерения расстояния к другой скважине.

На фиг. 2 проиллюстрирована диаграмма, на которой проиллюстрировано магнитное поле 201 передающей катушки 110, через которую протекает ток, и эквивалентный магнитный диполь 200 в соответствии с аспектами настоящего изобретения. Через передающую катушку 110 пропускают ток и вращают ее вокруг оси z для наведения магнитного поля 201 вблизи катушки 110. Проиллюстрирована передающая катушка 110, имеющая магнитный дипольный момент 200 в направлении x (т.е. катушка, которая лежит в плоскости $y-z$) и создает электрическое поле (\vec{E}) вокруг него.

Магнитное поле 201 передающей катушки 110 описывается идеализированным магнитным диполем магнитного момента m . Магнитное поле $\vec{B}(\vec{r})$ магнитного диполя, направленного в направлении \hat{m} , и

имеющее напряженность m Вебер на квадратный метр в точке наблюдения 203 на расстоянии r от передающей катушки 110, определяется

$$B_r = 2 \frac{m}{4\pi r^3} \cos \theta \quad (3a)$$

$$B_\theta = \frac{m}{4\pi r^3} \sin \theta \quad (3b)$$

где r - расстояние от центра диполя до точки наблюдения 203 и

θ - угол между вектором от центра диполя до точки наблюдения и магнитным моментом \vec{m} .

Как видно из уравнений (3), магнитное поле в точке наблюдения 203 зависит от расстояния, а также от ориентации катушки. Когда вращается катушка (магнитный дипольный момент m), азимутальный угол оси катушки относительно опорного направления будет меняться одновременно с уровнем сигнала.

При рассмотрении фиг. 1, если передающая катушка 110 вращается вокруг оси z , магнитное поле вокруг целевой скважины будет изменяться, а наведенный ток на целевой скважине можно записать в виде

$$I_t = I_m \cos(\varnothing_T) \quad (4)$$

где \varnothing_T представляет собой азимутальный угол между моментом магнитного диполя передающей катушки и осью y , и

I_m соответствует максимальному наведенному току на целевой скважине, который зависит от момента магнитного диполя катушки, частоты тока катушки, расстояния и свойств пласта формирования и целевой обсадной колонны. Приемные катушки 120, 121 приемника принимают сигнал непосредственно от передающей катушки 110, а также магнитное поле, вызванное I_t , как описано в уравнении (1).

Таким образом, сигнал в приемнике Rx может быть записан как

$$V = S_t \cos(\varnothing_T) \cos(\varnothing_R) + S_D \cos(\varnothing_T - \varnothing_R) \quad (5)$$

где S_D представляет собой прямой сигнал от Tx до Rx и

S_t представляет собой сигнал, вызванный эффективным наведенным током на целевой скважине.

\varnothing_R представляет собой азимутальный угол между моментом магнитного диполя приемной катушки и осью y .

Поскольку характеристики Tx и Rx известны, когда прибор приближается к проводящей скважине, уровень сигнала, принимаемого приемником, будет изменяться, при этом он указывает на наличие другой скважины.

Анализ полученных ЭМ данных может обеспечить определение направления и расстояния между целевой скважиной и дальномерным устройством. В некоторых примерах для определения положения ЭМ-передатчика по отношению к электромагнитным датчикам может использоваться алгоритм инверсии, основанный на законах, описывающих ЭМ-поля. Этот алгоритм инверсии может быть основан на детерминистических и/или стохастических методах оптимизации.

В данном изобретении предлагается использовать Tx/Rx рамочные антенны для передачи и приема вокруг прибора магнитного поля под несколькими азимутальными углами, чтобы обеспечить дальность обнаружения до проводящей целевой скважины. Существуют различные сценарии и конфигурации, которые могут быть приняты во внимание и рассмотрены в следующих примерах.

В следующих примерах предполагается, что расстояние до бурящейся скважины от законченной скважины определяют с использованием передатчика и приемников в бурящейся скважине. При этом при использовании проводного зонда в уже законченной скважине также можно определить относительное расстояние и направление от законченной скважины до бурящейся скважины, если в бурящейся скважине находится проводящий материал.

На фиг. 3 проиллюстрирована блок-схема способа электромагнитной (ЭМ) дальнометрии в соответствии с аспектами настоящего изобретения. Бурящуюся скважину начинают в блоке 301. В блоке 303 из передающей катушки в бурящейся скважине передают ЭМ-сигналы. Это может быть осуществлено посредством прибора в бурильной колонне или в инструменте, спускаемом в скважину на тросе, как проиллюстрировано и описано ниже. В блоке 305 по меньшей мере одна приемная катушка в бурящейся скважине, расположенная на расстоянии dTR от передающей катушки, измеряет принятые ЭМ-сигналы от целевой трубы, которые были наведены переданными ЭМ-сигналами из бурящейся скважины. В блоке 307 с использованием вычисления инверсии или градиента определяют относительное расстояние и направление целевой скважины от бурящейся скважины. Это может быть расстояние от КНБК или зонда на кабеле до целевой скважины (например, Т-пересечение, параллельное расстояние). Во время измерений по меньшей мере одно из следующего: передающая катушка или приемная катушка вращается, при этом приемную катушку отключают (т.е. делают нечувствительной, блокируют) от приема передаваемых сигналов ЭМ. В другом примере определение относительного расстояния и/или направления включает решение системы уравнений (например, преобразование Фурье), в которой каждое уравнение связано с другим азимутальным углом, как описано ниже.

В блоке 309 определяют любые отклонения в траектории бурящейся скважины и при необходимости корректируют траекторию КНБК. В блоке 311 после выполнения любых требуемых изменений продолжают бурение бурящейся скважины, и процесс повторяют с этапа 303 до этапа 313 завершения бурящейся скважины. Завершение происходит, когда буровая скважина пересекает целевую скважину или, если буровая скважина проходит параллельно или обходит целевую скважину, при этом бурящаяся скважина завершается, когда достигнута требуемая глубина.

Способ, проиллюстрированный на фиг. 3, может быть реализован множеством способов. Два из этих примеров проиллюстрированы на фиг. 4 и 5. На фиг. 4 проиллюстрирована блок-схема способа ЭМ-дальнометрии с использованием двухкоординатной конфигурации (X-Y) антенного прибора в соответствии с аспектами настоящего изобретения. На этой блок-схеме показан приведенный в качестве примера способ выполнения этапов 303 и 305 способа, проиллюстрированного на фиг. 3. В этом примере у приемной катушки нет возможности принимать прямой электромагнитный (ЭМ) сигнал от передающей катушки путем регулирования относительной ориентации передающей катушки относительно приемной катушки.

Согласно блоку 401 ЭМ-сигнал передается от передающей катушки, ось которой пролегает, по существу, вдоль оси x. Согласно блоку 403 приемная катушка, ось которой пролегает, по существу, вдоль оси y, принимает ЭМ-сигналы из целевой скважины. Из-за такой перпендикулярной ориентации антенных катушек прямой сигнал, поступающий от передатчика на приемники, не воспринимается приемниками. Согласно блоку 405 этапы 401 и 403 повторяются по меньшей мере для двух азимутальных ориентаций прибора, содержащего передатчик и приемники (например, при вращении прибора). Согласно блоку 407 с помощью ЭМ-сигналов, принимаемых при различных азимутах, можно определить ориентацию, направление и дальность до целевой скважины с использованием метода инверсии или градиента.

На фиг. 5 проиллюстрирована блок-схема способа ЭМ-дальнометрии с использованием прибора с вращающейся рамочной антенной с компенсирующими приемником и передатчиком в соответствии с аспектами настоящего изобретения. На этой блок-схеме показан другой приведенный в качестве примера способ выполнения этапов 303 и 305 способа, проиллюстрированного на фиг. 3.

Согласно блоку 501 ЭМ-сигнал передается от передающей катушки, ось которой пролегает, по существу, вдоль оси x. Согласно блоку 503 приемная катушка, ось которой пролегает, по существу, вдоль оси x, принимает ЭМ-сигналы из целевой скважины. Приемные катушки в этом примере имеют компенсирующую конфигурацию для уменьшения или исключения прямого сигнала от передающей катушки. Катушка приемника в компенсирующей конфигурации предназначена для компенсации или уменьшения непосредственной связи между катушками передатчика и приемника. Сигнал прямой связи намного мощнее сигнала от пласта. Компенсирующую приемную катушку наматывают с противоположной полярностью на основную приемную катушку и размещают последовательно с ней в месте, в котором уменьшается непосредственная связь с другими приемными катушками.

Согласно блоку 505 этапы 501 и 503 повторяются по меньшей мере для двух азимутальных ориентаций инструмента, содержащего передатчик и приемники. Согласно блоку 507 с помощью ЭМ-сигналов, принимаемых при различных азимутах, можно определить ориентацию, направление и дальность до целевой скважины с использованием метода инверсии или градиента.

Другие способы реализации способа дальнометрии, проиллюстрированного на фиг. 3, включают передачу первого ЭМ-сигнала под множеством азимутальных углов и прием второго ЭМ-сигнала под одним азимутальным углом; передачу первого ЭМ-сигнала под одним азимутальным углом и прием второго ЭМ-сигнала под множеством азимутальных углов; передачу первого ЭМ-сигнала под множеством азимутальных углов и прием второго ЭМ-сигнала под множеством азимутальных углов; а также передачу первого ЭМ-сигнала под первым множеством азимутальных углов и прием второго ЭМ-сигнала под вторым множеством азимутальных углов.

Вышеописанные способы могут быть реализованы в различных сценариях. Следующие описания сценариев приведены только с целью иллюстрации, поскольку возможны и другие сценарии. Если не указано иное, данные сценарии предполагают следующие свойства для целевой скважины и антенных катушек. Предполагают, что целевая скважина представляет собой полый металлический трубопровод со следующими свойствами: электропроводностью $\sigma = 10^6$ сименс на метр (сим/м), относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 1$, относительной магнитной проницаемостью $\mu_r = 60$, OD = 0,2 м и ID = 0,178 м. Предполагают, что длина целевой скважины составляет около 600 м, и предполагают, что передающая катушка расположена вокруг средней точки целевой скважины на расстоянии R, как проиллюстрировано на фиг. 1.

Передающая и приемная катушки имеют диаметр около 171,45 мм, при этом N = 120 витков. Передающая катушка проводит ток I = 1 А с частотой около 10 Гц. Катушка, которая является ближайшей к буровому долоту, находится на расстоянии около 1 м. Предполагают, что пласт является однородным, при этом его удельное сопротивление $R_f = 10$ Ом и диэлектрическая проницаемость $\epsilon_{ff} =$ магнитная проницаемость $\mu_{ff} = 1$. В первом сценарии передатчик поворачивается вокруг оси z для отправки ЭМ-сигналов под множеством разных азимутальных углов во время измерения, а приемник настроен на один

азимутальный угол. Предполагают, что сигналы T_x передаются по меньшей мере под двумя разными азимутальными углами (\varnothing_1 и \varnothing_2). Передача сигналов под множеством азимутальных углов может осуществляться путем изменения азимутального угла прибора. Эта концепция проиллюстрирована на графиках на фиг. 6. На фиг. 6 проиллюстрированы графики сигнала в приемнике с T_x , вращающимся вокруг оси z для передачи сигналов под разными азимутальными углами, и R_x под одним азимутальным углом вдоль оси y в соответствии с аспектами настоящего изобретения. На этом чертеже показана реальная и мнимая части сигнала в приемнике при разных ориентациях азимутального угла передатчика (передатчик вращается вокруг оси z для передачи сигнала под разными азимутальными углами, \varnothing_T). В левом столбце графиков 600 показан итоговый сигнал, принимаемый приемными катушками. В правом столбце графиков 601 показан прямой сигнал, поступающий от передатчика на приемник. На этой фигуре предполагается, что момент приемника ориентирован вдоль оси y , а приемные катушки расположены как можно ближе к буровому долоту. Расстояние между приемными катушками и целевой скважиной составляет $R = 10$ м, а передатчик отделен $dTR = 9,14$ м от приемника.

В другом сценарии передатчик установлен под одним азимутальным углом, а приемник расположен под множеством азимутальных углов. Приемник вращается вокруг оси z для приема сигнала под разными азимутальными углами во время измерения, в то время как передающая катушка установлена под одним азимутальным углом. Графики на фиг. 6 также иллюстрируют этот сценарий.

В другом сценарии передающая катушка и приемные катушки совместно расположены под множеством азимутальных углов. Например, передатчик и приемник вращаются одновременно вокруг оси z для передачи и приема сигнала под множеством азимутальных углов вокруг инструмента, как проиллюстрировано на фиг. 7. На фиг. 7 проиллюстрированы графики сигнала в приемнике с T_x и R_x , вращающимися вокруг оси z для передачи сигналов под множеством азимутальных углов в соответствии с аспектами настоящего изобретения. В левом столбце графиков 700 показан итоговый сигнал, принимаемый приемными катушками, а в правом столбце графиков 701 показан прямой сигнал, поступающий от передающей катушки на приемную катушку. Как и ожидалось из приведенного выше уравнения 5, сигнал в приемнике будет $V = S_i(1 + \cos(2\varnothing_0))/2 + S_p$. Таким образом, принятый сигнал включает в себя смещение.

Поскольку передатчик и приемник вращаются одновременно, прямой сигнал будет одинаковым для разных ориентаций азимутального угла, как видно из левого столбца графиков 701 на фиг. 7. Для определения местоположения передатчика и приемника используют по меньшей мере три разных азимутальных угла. Если измерение выполняют под множеством азимутальных углов, к принятому сигналу может быть применено преобразование Фурье для получения спектра Фурье принятого магнитного поля и, таким образом, определения относительного расстояния и/или направления к другой скважине. Другой способ получения любого из неизвестных параметров расстояния/направления S_t и S_d состоит в том, чтобы составить систему уравнений из уравнения (5), связанную с каждым отличным азимутальным углом \varnothing_0 , и решить систему уравнений. Как обсуждалось, уравнения могут быть решены с помощью преобразования Фурье (например, быстрого преобразования Фурье).

В еще одном сценарии передатчик и приемник расположены под множеством разных азимутальных углов относительно друг друга. Иными словами, азимутальные углы передатчика и приемника изменяются, но не одновременно. В этом сценарии передатчик и приемник расположены совместно под разными азимутальными углами, но не в одних и тех же местах. Таким образом, они передают и принимают сигналы под разными множественными азимутальными углами.

В еще одном сценарии для вычисления расстояния до целевой скважины используют множество приемных катушек, размещая приемные катушки на фиксированном расстоянии друг от друга. Приемные катушки будут измерять сигнал в разных местах и, зная фиксированное расстояние между приемниками, можно определить расстояние от приемных катушек до целевой скважины путем применения метода градиента.

Тем не менее, приемные катушки также измеряют прямой сигнал, создаваемый передатчиком. Чтобы исключить прием этого прямого сигнала, можно принять во внимание несколько подходов. Один из подходов заключается в использовании компенсационных приемников, обмотки которых намотаны в противоположном направлении относительно обмотки катушки основных приемников. Затем компенсационный приемник может быть расположен таким образом, чтобы исключить мнимую составляющую прямого сигнала между комбинациями основного компенсационного приемника (например, между основной приемной катушкой и передающей катушкой).

В сценарии выполнения дальнометрии при Т-образном пересечении (например, перпендикулярных скважинах) приемные катушки разделяются вдоль продольной оси инструмента (например, оси z на фиг. 1). Однако в сценарии выполнения дальнометрии при параллельном или наклонном размещении приемные катушки могут быть разделены в радиальном направлении (т.е. по периферии вокруг инструмента).

В еще одном сценарии используют конфигурацию X-Y для передатчика и приемника и сигналы передаются/принимаются под множеством азимутальных углов. В этой конфигурации передатчик и приемник установлены в конфигурации X-Y (т.е. под перпендикулярными азимутальными углами), как про-

иллюстрировано на фиг. 1. Таким образом, во время измерения передатчик и приемник вращаются одновременно. С помощью конфигурации X-Y устраняется прямой сигнал, поступающий от передатчика на приемник, и приемник получает сигнал только от целевой скважины. Эта концепция проиллюстрирована на графиках на фиг. 8.

На фиг. 8 проиллюстрированы графики сигналов, полученных от системы с Tx и Rx в двухкоординатной конфигурации (X-Y) и вращающихся одновременно, в соответствии с аспектами настоящего изобретения. Графики итогового сигнала, принимаемого приемником, показаны в левом столбце графиков 800, а графики прямого сигнала, принимаемого приемником, показаны в правом столбце графиков 801. Можно увидеть, что прямой сигнал почти полностью заблокирован в приемнике посредством конфигурации X-Y. Еще в одном сценарии используют конфигурацию X-Y для передатчика и приемника в конфигурации приемника градиента. Для вычисления расстояния до целевой скважины могут использовать множество приемных катушек, которые устанавливаются на фиксированном расстоянии друг от друга. В этом сценарии в случае, когда передатчик передает сигналы по оси x, приемники принимают сигналы по оси y. Затем эта конфигурация вращается одновременно.

В одном примере этого сценария обе приемные катушки разделены $\Delta S = 0,914$ м вдоль оси z. Пара приемных катушек измеряет магнитное поле в разных точках вдоль оси z таким образом, что расстояние между набором приемных катушек и целевой скважиной может быть рассчитано с помощью полей градиентов. Этот сценарий проиллюстрирован на графике на фиг. 9.

На фиг. 9 проиллюстрирован график вычисленных расстояний и действительных расстояний с Tx и Rx в двухкоординатной конфигурации (X-Y) в соответствии с аспектами настоящего изобретения. На этой фигуре показан расчет расстояния между центром пары приемников и целевой скважиной в диапазоне от 1 до 20 м. Пунктирная линия показывает фактическое расстояние, а сплошная линия показывает расстояние, рассчитанное посредством расчета градиентного расстояния.

В еще одном сценарии приемник или передатчик расположены на буровом долоте и вращаются вместе с буровым долотом. Согласно еще одному сценарию приемник или передатчик располагаются непосредственно рядом с буровым долотом на буровой колонне. Улучшенные рабочие характеристики и более мощные сигналы могут быть достигнуты тогда, когда один из приемников или передатчика находится либо на буровом долоте, либо очень близко к буровому долоту.

Вышеописанные сценарии могут быть реализованы по отдельности или в любой комбинации. Эти сценарии предназначены только для иллюстрации, поскольку возможны другие сценарии и комбинации сценариев.

На фиг. 10 проиллюстрирована схема буровой системы в соответствии с аспектами настоящего изобретения. Эта схема иллюстрирует бурящуюся скважину, из которой измеряют дальность до целевой скважины 1091 с помощью устройства 1000 с вращающейся рамочной антенной в компоновке низа буровой колонны (КНБК) 1120.

Система 1064 содержит буровую установку 1002, расположенную на поверхности 1004 скважины 1006. Буровая установка 1002 может обеспечивать поддержку буровой колонны 1008. Буровая колонна 1008 может проходить через роторный стол 1010 для бурения ствола скважины 1012 через подземные пласты 1090. Буровая колонна 1008 может содержать буровую трубу 1018 и КНБК 1020 (например, буровую колонну), расположенную, возможно, в нижней части буровой трубы 1018.

КНБК 1020 может содержать утяжеленные буровые трубы 1022, скважинный инструмент 1024, стабилизаторы буровой колонны, датчики, роторно-управляемую систему (РУС), буровое долото 1026, а также другие возможные компоненты. Буровое долото 1026 может создавать ствол скважины 1012, проникая через поверхность 1004 и подземные пласты 1090. КНБК 1020 может дополнительно содержать примеры устройства 1000 с вращающейся рамочной антенной, как описано ранее. Например, система 1000 с вращающейся рамочной антенной может быть частью бурового долота или частью скважинного инструмента 1024, как показано на фигурах.

Во время проводимых в стволе скважины 1012 операций бурения и измерения дальности к целевой скважине 1091 буровая колонна 1008 (возможно, содержащая буровую трубу 1018 и КНБК 1020) может вращаться роторным столом 1010. Хотя это и не показано, в качестве дополнения или альтернативы, КНБК 1020 может приводиться во вращение и с помощью двигателя (например, забойного двигателя), который расположен в забое скважины. С целью увеличения веса на буровое долото 1026 могут использоваться утяжеленные буровые трубы 1022. Утяжеленные буровые трубы 1022 могут также служить для увеличения жесткости КНБК 1020, благодаря чему с помощью КНБК 1020 переносится дополнительный вес на буровое долото 1026, а также, в свою очередь, облегчается прохождение бурового долота 1026 через поверхностные 1004 и подземные породы 1090.

Во время буровых работ буровой насос 1032 может закачивать промывочную жидкость (иногда известную специалисту в данной области техники как "буровой раствор") из бака для бурового раствора 1034 через шланг 1036 в буровую трубу 1018 и вниз к буровому долоту 1026. Промывочная жидкость может вытекать из бурового долота 1026 и возвращаться на поверхность 1004 через кольцевое пространство 1040 между буровой трубой 1018 и боковыми стенками ствола скважины 1012. Буровой раствор затем может возвращаться в грязевую яму 1034, в которой фильтруется данный раствор. В некоторых

примерах промывочная жидкость может использоваться для охлаждения бурового долота 1026, а также для смазывания бурового долота 1026 во время буровых работ. Кроме того, промывочная жидкость может использоваться для удаления из подземного пласта бурового шлама, создаваемого при работе бурового долота 1026.

Рабочая станция 1092, содержащая контроллер 1096, может включать в себя модули, содержащие аппаратные схемы, процессор и/или схемы памяти, которые могут хранить программные модули и объекты и/или аппаратно-программное обеспечение, а также их комбинации, которые выполнены с возможностью реализовать, по меньшей мере, ранее описанные способы. Рабочая станция 1092 может также содержать модуляторы и демодуляторы для модуляции и демодуляции данных, передаваемых в забое скважины через кабель 1030, или телеметрии, принимаемой через кабель 1030 из внутрискважинной среды. Рабочая станция 1092 и контроллер 1096 проиллюстрированы рядом с буровой установкой 1002 только для целей иллюстрации, поскольку эти компоненты могут быть расположены в отдаленных местах. Рабочая станция 1092 может содержать наземную часть системы двойной поляризации.

Эти варианты реализации могут включать машиночитаемое запоминающее устройство, содержащее выполняемые компьютером команды, такое как машиночитаемое запоминающее устройство, содержащее выполняемые компьютером команды. Кроме того, машиночитаемое запоминающее устройство может представлять собой физическое устройство, сохраняющее данные, представленные характеристиками физической структуры внутри устройства. Данное физическое устройство является энергонезависимым. Примеры энергонезависимого машиночитаемого запоминающего устройства могут включать, но не ограничиваются этим, постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), запоминающее устройство на магнитных дисках, оптическое запоминающее устройство, флэш-память и другие электронные, магнитные и/или оптические запоминающие устройства.

На фиг. 11 проиллюстрирована схема каротажной системы в соответствии с аспектами настоящего изобретения. Устройство 1000 с вращающейся рамочной антенной можно использовать в каротажной системе для определения относительного направления и расстояния до скважины 1112, в которой осуществляется бурение, как описано выше. Система 1164 может содержать по меньшей мере один корпус 1120 каротажного инструмента на кабеле как часть операции каротажа на кабеле в стволе скважины 1012, включая устройство 1000 с вращающейся рамочной антенной, описанное ранее. Можно увидеть буровую платформу 1086, оборудованную вышкой 1088 для бурения, которая поддерживает подъемник 1190. Бурение нефтяных и газовых скважин обычно осуществляется с помощью колонны бурильных труб, соединенных между собой, для образования бурильной колонны, которая опускается через роторный стол 1010 в ствол скважины 1012. В этом случае предполагают, что бурильная колонна была временно удалена из скважины 1012, чтобы позволить спуск корпуса 1120 каротажного инструмента на тросе, такого как каротажный прибор или каротажный зонд с устройством 1000 с вращающейся рамочной антенной, посредством каротажного троса или каротажного кабеля 1174 (например, тросового каната) в ствол скважины 1012. Как правило, корпус 1120 каротажного инструмента на тросе опускается в нижнюю часть представляющей интерес области, а затем поднимается вверх по стволу скважины, по существу, с постоянной скоростью. Во время перемещения вверх по стволу скважины на ряд глубин для определения относительного расстояния и/или направления по отношению к буровой скважине могут использовать инструмент с одним устройством 1000 с вращающейся рамочной антенной. Полученные данные могут быть переданы в наземную каротажную установку (например, рабочую станцию 1092) для обработки, анализа и/или хранения. Рабочая станция 1092 может содержать контроллер 1096, который выполнен с возможностью реализовать любые раскрытые в настоящем документе способы.

На фиг. 12 проиллюстрирована структурная схема примерной системы, выполненной с возможностью реализации этапов нескольких способов, в соответствии с различными аспектами настоящего изобретения. Система 1200 может содержать корпус 1206 инструмента, содержащий установленное в нем устройство 1000 с вращающейся рамочной антенной. Система 1200 может быть реализована так, как проиллюстрировано на фиг. 10 и 11 относительно рабочей станции 1092 и контроллера 1096.

Система 1200 может содержать контроллер 1220, память 1230 и блок связи 1235. Структура памяти 1230 может предусматривать базу данных. Контроллер 1220, память 1230 и блок связи 1235 могут быть расположены так, чтобы работать в качестве блока обработки данных для управления работой устройства 1000 с вращающейся рамочной антенной и осуществления любых способов, раскрытых в настоящем документе, для определения состояния труб в стволе скважины. Блок обработки данных может быть расположен в корпусе 1206 инструмента для управления работой устройства 1000 с вращающейся рамочной антенной.

Блок связи 1235 может включать функциональные возможности связи для передачи данных из забоя скважины на поверхность или с поверхности в забой скважины. Такие функциональные возможности связи могут включать в себя телеметрическую систему, такую как телеметрия по гидроимпульсному каналу связи. В другом примере в блоке связи 1235 могут использоваться комбинации технологий проводной связи и беспроводной технологий. Система 1200 также может содержать шину 1237, которая обеспечивает электропроводность между компонентами системы 1200. Шина 1237 может включать адресную шину, шину данных и шину управления, причем конфигурация каждой из них выполняется независимо

или в интегрированном виде. Шина 1237 может быть реализована с использованием множества различных средств связи, что позволяет распределять компоненты системы 1200. Шина 1237 может включать в себя сеть. Использование шины 1237 может регулироваться контроллером 1220.

Система 1200 может содержать устройство (устройства) отображения 1260 в качестве распределенного компонента на поверхности ствола скважины, которое может использоваться совместно с командами, хранящимися в памяти 1230, для реализации пользовательского интерфейса для контроля за работой инструмента 1206 или компонентов, распределенных внутри системы 1200. Пользовательский интерфейс может использоваться для ввода значений параметров для пороговых значений таким образом, чтобы система 1200 могла работать автономно, по существу, без вмешательства пользователя в функции различных прикладных программ. Пользовательский интерфейс может также обеспечивать пользователю ручное переопределение и изменение управления системой 1200. Такой пользовательский интерфейс может функционировать совместно с блоком связи 1235 и шиной 1237.

Эти варианты реализации могут включать машиночитаемое запоминающее устройство, содержащее выполняемые компьютером команды, такое как машиночитаемое запоминающее устройство, содержащее выполняемые компьютером команды. Кроме того, машиночитаемое запоминающее устройство может представлять собой физическое устройство, сохраняющее данные, представленные характеристиками физической структуры внутри устройства. Данное физическое устройство является энергонезависимым. Примеры машиночитаемых запоминающих устройств могут включать, но не ограничиваются этим, постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), запоминающее устройство на магнитных дисках, оптическое запоминающее устройство, флэш-память и другие электронные, магнитные и/или оптические устройства памяти.

В некоторых примерах могут использовать активную дальномерную систему на тресе для определения относительного расстояния и относительного направления от первой скважины (например, опорной скважины) до второй скважины (например, целевой скважины) до тех пор, пока опорная скважина не достигнет требуемого расстояния. После этого ЭМ-инструмент каротажа во время бурения (КВБ) с вращающейся рамочной антенной, описанный ранее, могут использовать для поддержки или регулирования (например, увеличения и уменьшения) требуемого расстояния во время бурения. Требуемое расстояние может быть определено как расстояние, на котором ЭМ-инструмент с вращающейся рамочной антенной может точно отслеживать целевую скважину. Это расстояние может варьироваться в зависимости от частоты, используемой каротажным инструментом, а также от требуемой точности. Во время операции, осуществляемой при помощи инструмента, спускаемого на тресе, могут использовать ЭМ-инструмент с вращающейся рамочной антенной для определения дальности до целевой скважины, а во время операции бурения могут использовать дальномерный инструмент при бурении опорной скважины. Дальномерную систему на тресе могут сначала использовать для обеспечения дальности и направления по отношению ко второй скважине (целевой скважине), поскольку она может обеспечить более высокую точность при определении дальности и большой диапазон определения дальности на основании измерений инверсии или градиента с очень низкой рабочей частотой. Однако поскольку при использовании системы на тресе осуществляют бурильные операции с многократным спуском и подъемом для выполнения необходимых требований к дальнометрии, может быть введена ЭМ-система с вращающейся рамочной антенной для направления каротажного инструмента в правильном направлении относительно целевой скважины или для поддержания требуемого направления относительно целевой скважины. На такие измерения могут оказывать воздействие пласты вокруг инструмента, а также проводящая обсадная труба в целевой скважине. Могут быть осуществлены многие варианты реализации изобретения. Теперь будет описано несколько примеров.

Пример 1 представляет собой способ, включающий передачу первого электромагнитного сигнала от передающей катушки в приборе; прием второго электромагнитного сигнала при использовании приемной катушки в приборе, причем по меньшей мере одно из следующего: передающая катушка или приемная катушка вращается; и определение относительного расстояния и/или направления к скважине на основании второго электромагнитного сигнала, причем приемную катушку блокируют от приема первого электромагнитного сигнала.

В примере 2 объект изобретения из примера 1 может дополнительно включать отличие, заключающееся в том, что определение относительного расстояния и/или направления включает решение системы уравнений, в которой каждое уравнение связано с другим азимутальным углом.

В примере 3 объект изобретения из примеров 1-2 может дополнительно включать отличие, заключающееся в том, что решение системы уравнений включает использование преобразования Фурье уравнений, а расстояние и/или направление определяют из преобразования Фурье.

В примере 4 объект изобретения из примеров 1-3 может дополнительно включать отличие, заключающееся в том, что блокирование приемной катушки от приема первого электромагнитного сигнала осуществляют посредством второй приемной катушки, выполняющей функцию компенсационной катушки для приема первого электромагнитного сигнала.

В примере 5 объект изобретения из примеров 1-4 может дополнительно включать отличие, заключающееся в том, что передача первого электромагнитного сигнала включает передачу первого электро-

магнитного сигнала под множеством азимутальных углов, а прием второго электромагнитного сигнала включает прием второго электромагнитного сигнала под одним азимутальным углом.

В примере 6 объект изобретения из примеров 1-5 может дополнительно включать отличие, заключающееся в том, что передача первого электромагнитного сигнала включает передачу первого электромагнитного сигнала под одним углом, а прием второго электромагнитного сигнала включает прием второго электромагнитного сигнала под множеством углов.

В примере 7 объект изобретения из примеров 1-6 может дополнительно включать отличие, заключающееся в том, что передача первого электромагнитного сигнала включает передачу первого электромагнитного сигнала под множеством углов, а прием второго электромагнитного сигнала включает прием второго электромагнитного сигнала под указанным множеством углов.

В примере 8 объект изобретения из примеров 1-7 может дополнительно включать отличие, заключающееся в том, что передача первого электромагнитного сигнала включает передачу первого электромагнитного сигнала под первым множеством углов, а прием второго электромагнитного сигнала включает прием второго электромагнитного сигнала под вторым множеством углов.

В примере 9 объект изобретения из примеров 1-8 может дополнительно включать отличие, заключающееся в том, что вторая приемная катушка расположена в приборе на заданном расстоянии от приемной катушки, причем способ дополнительно включает определение относительного расстояния и/или направления к скважине в соответствии с градиентом электромагнитного поля.

В примере 10 объект изобретения из примеров 1-9 может дополнительно включать отличие, заключающееся в том, что блокирование приемной катушки от приема первого электромагнитного сигнала осуществляют посредством регулирования взаимной ориентации передающей катушки относительно приемной катушки.

В примере 11 объект изобретения из примеров 1-10 может необязательно включать одновременное вращение передающей катушки и приемной катушки.

В примере 12 объект изобретения из примеров 1-11 может дополнительно включать отличие, заключающееся в том, что скважина является, по существу, перпендикулярной к бурящейся скважине, причем способ дополнительно включает регулирование направления бурящейся скважины в соответствии со вторым электромагнитным сигналом так, чтобы бурящаяся скважина или пересекала скважину, или обходила скважину.

Пример 13 представляет собой устройство, содержащее передающую катушку, имеющую магнитный момент, ориентированный в радиальном направлении под первым азимутальным углом, и выполненную с возможностью передачи первого электромагнитного сигнала под первым азимутальным углом; приемную катушку, имеющую магнитный момент, ориентированный в радиальном направлении под вторым азимутальным углом, и выполненную с возможностью приема второго электромагнитного сигнала под вторым азимутальным углом, причем по меньшей мере одно из следующего: передающая катушка или приемная катушка выполнена с возможностью вращения во время передачи или приема; и контроллер, соединенный с передающей катушкой и приемной катушкой, причем контроллер выполнен с возможностью определения относительного расстояния и/или направления к скважине на основании второго электромагнитного сигнала.

В примере 14 объект изобретения из примера 13 может дополнительно включать отличие, заключающееся в том, что передающая катушка дополнительно выполнена с возможностью вращения вокруг оси и передачи первого электромагнитного сигнала под множеством азимутальных углов.

В примере 15 объект изобретения из примеров 13-14 может дополнительно включать отличие, заключающееся в том, что приемная катушка дополнительно выполнена с возможностью вращения вокруг оси и приема второго электромагнитного сигнала под множеством указанных азимутальных углов.

В примере 16 объект изобретения из примеров 13-15 может дополнительно включать отличие, заключающееся в том, что приемная катушка дополнительно выполнена с возможностью вращения вокруг указанной оси и приема второго электромагнитного сигнала под вторым множеством азимутальных углов, отличных от указанного множества азимутальных углов.

В примере 17 объект изобретения из примеров 13-16 может дополнительно включать вторую приемную катушку, расположенную в инструменте на заданном расстоянии от указанной приемной катушки.

В примере 18 объект изобретения из примеров 13-17 может дополнительно включать отличие, заключающееся в том, что вторая приемная катушка содержит компенсирующую конфигурацию относительно приемной катушки.

В примере 19 объект изобретения из примеров 13-18 может дополнительно включать отличие, заключающееся в том, что первый азимутальный угол является перпендикулярным второму азимутальному углу.

Пример 20 представляет собой систему, содержащую корпус прибора; передатчик, расположенный в корпусе прибора и имеющий магнитный момент, ориентированный в радиальном направлении под первым азимутальным углом, причем указанный передатчик выполнен с возможностью передачи первого электромагнитного сигнала под первым азимутальным углом; приемник, расположенный в корпусе

прибора и имеющий магнитный момент, ориентированный в радиальном направлении под вторым азимутальным углом, причем приемник выполнен с возможностью приема второго электромагнитного сигнала под вторым азимутальным углом; и контроллер, соединенный с передатчиком и приемником и выполненный с возможностью определения относительного расстояния и/или направления к целевой скважине, при вращении по меньшей мере одного из магнитных моментов: передатчика или приемника.

В примере 21 объект изобретения из примера 20 может дополнительно содержать отличие, заключающееся в том, что корпус прибора расположен в инструменте, спускаемом в скважину на тросе, или в бурильной колонне.

В примере 22 объект изобретения из примера 20-21 может дополнительно содержать отличие, заключающееся в том, что корпус прибора соединен с буровым долотом бурильной колонны. Сопроводительные чертежи являются частью данной заявки и поясняют на примере иллюстраций, но без ввода ограничений, конкретные варианты реализации изобретения, посредством которых может быть осуществлен на практике объект изобретения. Проиллюстрированные варианты реализации изобретения описаны с детализацией, достаточной для предоставления специалистам в данной области техники возможности практического осуществления изобретения в настоящей заявке идей. Возможно использование других вариантов реализации изобретения и производных от них, таких, что возможны структурные и логические подстановки и изменения без отступления от объема настоящего изобретения. Поэтому данному подробному описанию не следует придавать ограничительный смысл, при этом объем различных вариантов реализации определяется исключительно прилагаемой формулой изобретения, а также полным диапазоном действия эквивалентов, которые законно приданы данной формуле.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для электромагнитной дальнометрии, содержащее передающую катушку, имеющую магнитный момент передающей катушки, ориентированный в радиальном направлении относительно заданной оси устройства под первым азимутальным углом, и выполненную с возможностью передачи первого электромагнитного сигнала под первым азимутальным углом;

приемную катушку, имеющую магнитный момент приемной катушки, ориентированный в радиальном направлении относительно заданной оси устройства под вторым азимутальным углом, и выполненную с возможностью приема второго электромагнитного сигнала от скважины под вторым азимутальным углом, при этом второй электромагнитный сигнал наведен первым электромагнитным сигналом, причем по меньшей мере одно из следующего: передающая катушка или приемная катушка выполнена с возможностью вращения во время передачи или приема, и при этом относительный азимутальный угол между первым азимутальным углом и вторым азимутальным углом регулируется на основании вращения, по меньшей мере, передающей катушки или приемной катушки; и

контроллер, соединенный с передающей катушкой и приемной катушкой, причем контроллер выполнен с возможностью определения относительного расстояния и/или направления между устройством и скважиной на основании второго электромагнитного сигнала.

2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что передающая катушка дополнительно выполнена с возможностью вращения вокруг заданной оси устройства и передачи первого электромагнитного сигнала под множеством азимутальных углов магнитного момента передающей катушки,

причем приемная катушка дополнительно выполнена с возможностью вращения вокруг указанной заданной оси устройства и приема второго электромагнитного сигнала по меньшей мере под одним из множества азимутальных углов магнитного момента приемной катушки и вторым множеством азимутальных углов магнитного момента приемной катушки, отличным от указанного множества азимутальных углов магнитного момента передающей катушки.

3. Устройство по п.1, дополнительно содержащее вторую приемную катушку, расположенную в устройстве на заданном расстоянии вдоль указанной заданной оси устройства от указанной приемной катушки, причем вторая приемная катушка содержит компенсирующую конфигурацию относительно приемной катушки.

4. Устройство по п.1, отличающееся тем, что первый азимутальный угол является перпендикулярным второму азимутальному углу.

5. Устройство по п.1, дополнительно содержащее корпус устройства, при этом передающая катушка, приемная катушка и контроллер расположены в корпусе устройства.

6. Устройство по п.5, отличающееся тем, что корпус устройства расположен в инструменте, спускаемом в скважину на тросе, или в бурильной колонне, так что указанный корпус устройства соединен с буровым долотом бурильной колонны.

7. Способ электромагнитной дальнометрии с использованием устройства, охарактеризованного в п.1, включающий

передачу первого электромагнитного сигнала от передающей катушки в устройстве;

прием второго электромагнитного сигнала от скважины при использовании приемной катушки в

устройстве, при этом второй электромагнитный сигнал наведен первым электромагнитным сигналом, причем по меньшей мере одно из следующего: передающая катушка или приемная катушка вращается относительно заданной оси устройства для получения в приемной катушке второго электромагнитного сигнала для множества разных относительных азимутальных углов между ориентациями передающей катушки и приемной катушки относительно друг друга; и

определение относительного расстояния и/или направления между устройством и скважиной на основании второго электромагнитного сигнала.

8. Способ по п.7, отличающийся тем, что определение относительного расстояния и/или направления включает решение системы уравнений, в которой каждое уравнение связано с одним из множества разных относительных азимутальных углов между ориентациями передающей катушки и приемной катушки относительно друг друга, причем решение системы уравнений включает применение к уравнениям преобразования Фурье, а относительное расстояние и/или направление определяют из преобразования Фурье.

9. Способ по п.7, отличающийся тем, что приемную катушку блокируют от приема первого электромагнитного сигнала посредством второй приемной катушки, выполняющей функцию компенсационной катушки для приема первого электромагнитного сигнала, причем передача первого электромагнитного сигнала и прием второго электромагнитного сигнала включает по меньшей мере одно из

передачи первого электромагнитного сигнала под множеством азимутальных углов магнитного дипольного момента передающей катушки, а прием второго электромагнитного сигнала под одним азимутальным углом магнитного дипольного момента приемной катушки, и

передачи первого электромагнитного сигнала под одним азимутальным углом магнитного дипольного момента передающей катушки, а прием второго электромагнитного сигнала под множеством азимутальных углов магнитного дипольного момента приемной катушки.

10. Способ по п.7, отличающийся тем, что передача первого электромагнитного сигнала включает передачу первого электромагнитного сигнала под множеством азимутальных углов магнитного дипольного момента передающей катушки, а прием второго электромагнитного сигнала включает прием второго электромагнитного сигнала под множеством азимутальных углов магнитного дипольного момента приемной катушки.

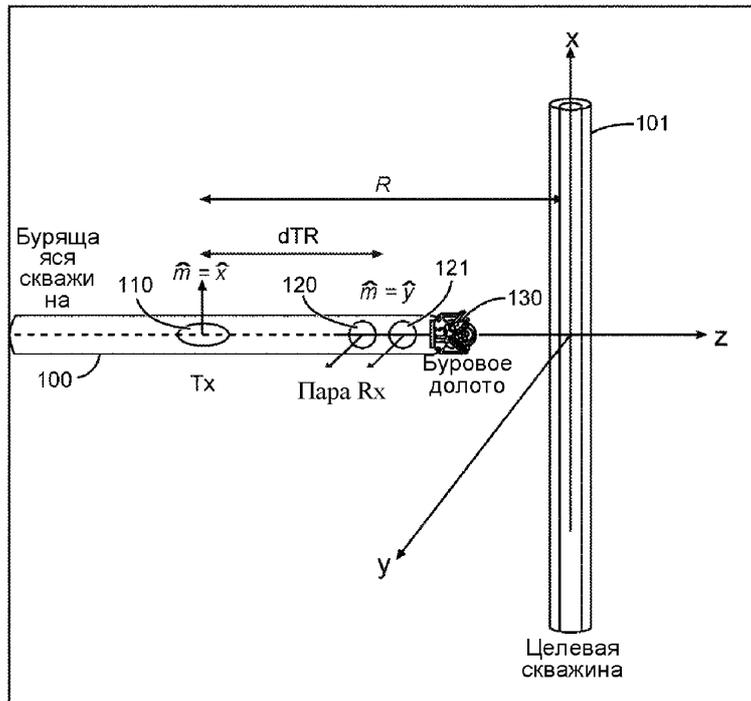
11. Способ по п.7, отличающийся тем, что передача первого электромагнитного сигнала включает передачу первого электромагнитного сигнала под первым множеством азимутальных углов магнитного дипольного момента передающей катушки, а прием второго электромагнитного сигнала включает прием второго электромагнитного сигнала под вторым множеством азимутальных углов магнитного дипольного момента приемной катушки.

12. Способ по п.7, отличающийся тем, что вторая приемная катушка расположена в устройстве на заданном расстоянии вдоль указанной заданной оси устройства от указанной приемной катушки, причем способ дополнительно включает определение относительного расстояния и/или направления между устройством и скважиной в соответствии с градиентом электромагнитного поля.

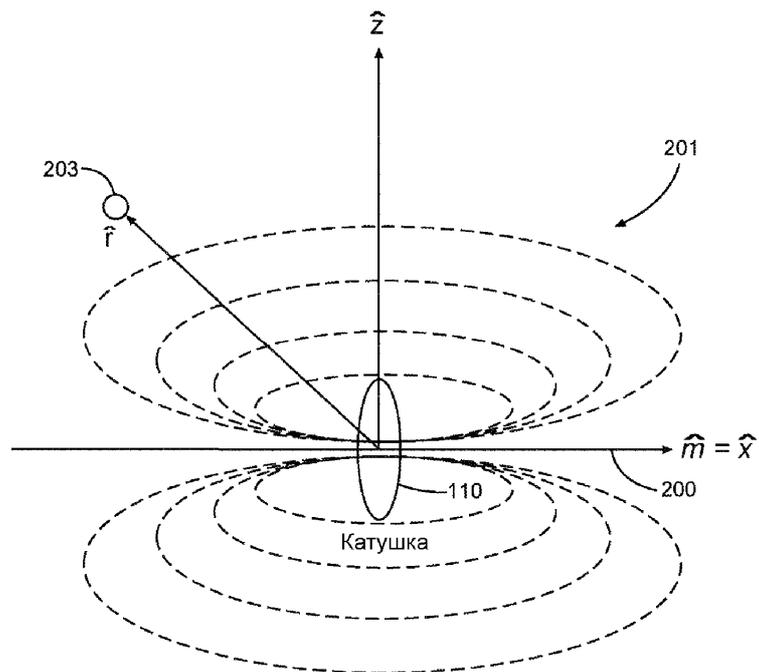
13. Способ по п.7, отличающийся тем, что приемную катушку блокируют от приема первого электромагнитного сигнала посредством регулирования взаимной ориентации передающей катушки относительно приемной катушки.

14. Способ по п.7, дополнительно включающий одновременное вращение передающей катушки и приемной катушки.

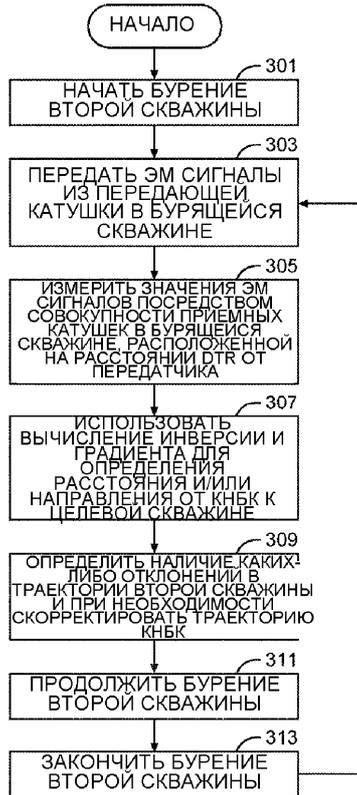
15. Способ по п.7, отличающийся тем, что устройство расположено в бурящейся скважине, и скважина является, по существу, перпендикулярной к бурящейся скважине, причем способ дополнительно включает регулирование направления бурящейся скважины в соответствии со вторым электромагнитным сигналом так, чтобы бурящаяся скважина либо пересекала скважину, либо обходила скважину.



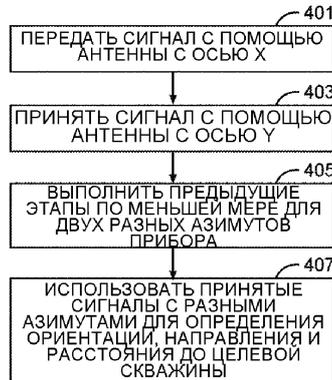
Фиг. 1



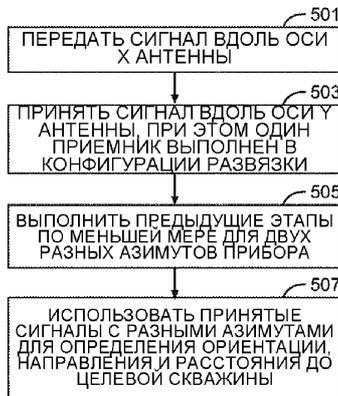
Фиг. 2



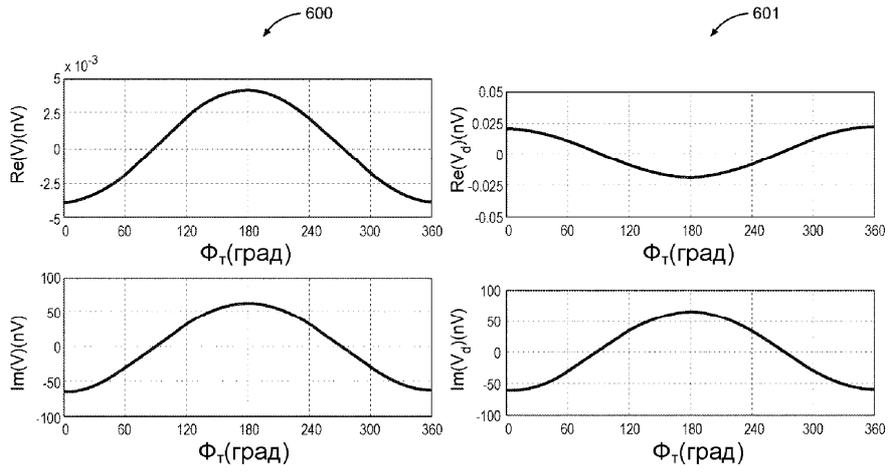
Фиг. 3



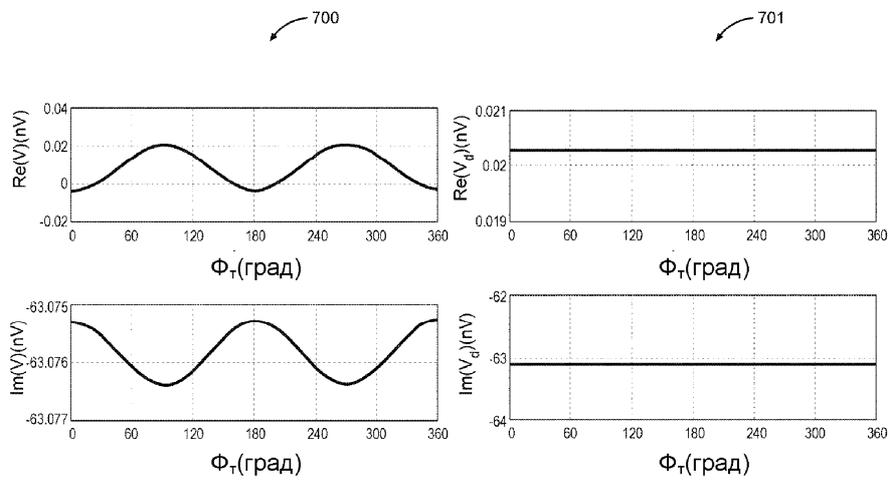
Фиг. 4



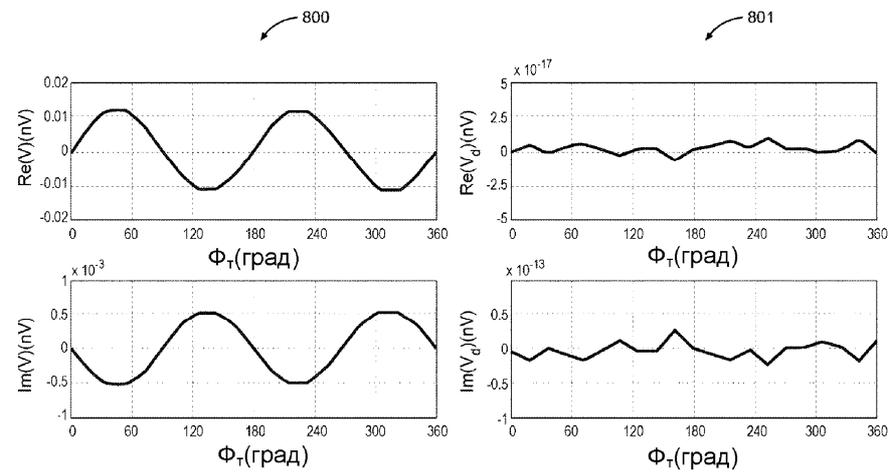
Фиг. 5



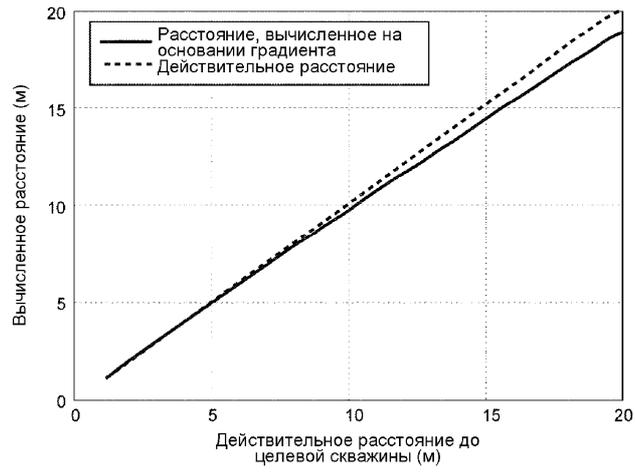
Фиг. 6



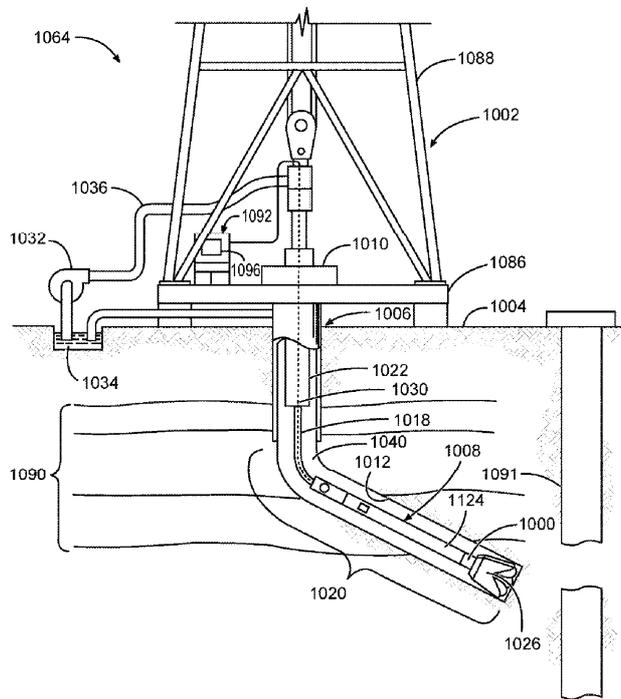
Фиг. 7



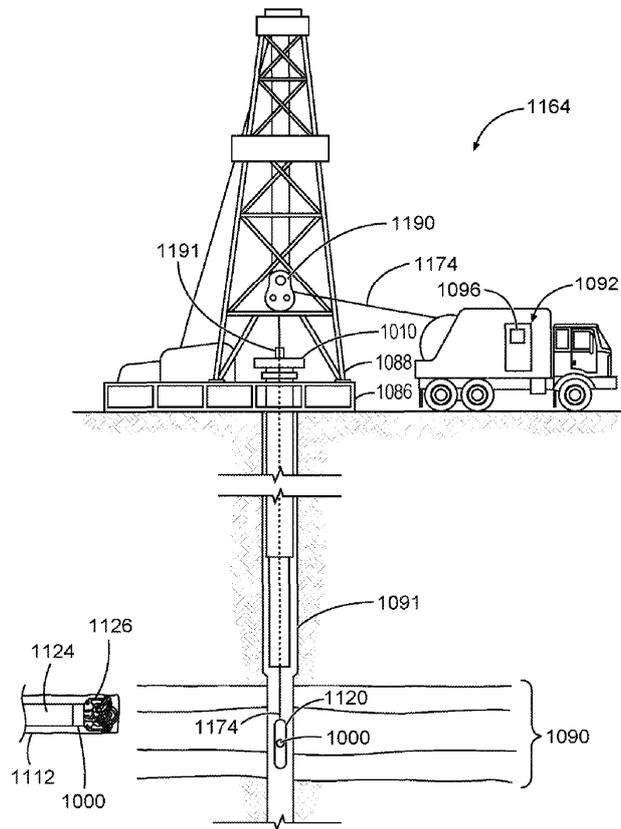
Фиг. 8



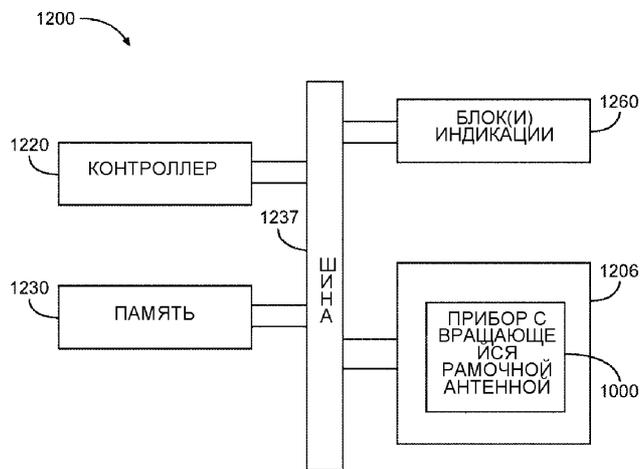
Фиг. 9



Фиг. 10



Фиг. 11



Фиг. 12