

(19)



**Евразийское
патентное
ведомство**

(11) **036852**

(13) **B1**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ

(45) Дата публикации и выдачи патента
2020.12.28

(51) Int. Cl. **G01V 3/30 (2006.01)**
E21B 49/00 (2006.01)

(21) Номер заявки
201700242

(22) Дата подачи заявки
2017.04.26

**(54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО 3D-СКАНЕРА И
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ 3D-СКАНЕР, ВЫПОЛНЕННЫЙ ПО ЭТОМУ СПОСОБУ**

(43) **2018.10.31**

(96) **2017000036 (RU) 2017.04.26**

(71)(73) Заявитель и патентовладелец:
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"РУССКИЕ УНИВЕРСАЛЬНЫЕ
СИСТЕМЫ" (RU)**

**Сергей Валериевич (RU), Лешетный
Владимир Николаевич (UA), Сухарев
Павел Александрович (RU), Жилин
Антон Александрович (UA), Злодеев
Валерий Викторович (RU)**

(74) Представитель:
**Котлов Д.В., Черняев М.А., Яремчук
А.А. (RU)**

(72) Изобретатель:
**Жилин Александр Александрович
(UA), Кочергин Максим Сергеевич,
Васильев Артем Юрьевич, Зимовец**

(56) US-A1-20110221443
US-A-4319191
US-A1-20110251794
US-A1-20080079432

(57) Изобретение относится к геофизическому оборудованию для исследований скважин методом электромагнитного каротажа и предназначено для исследования электрических свойств горных пород и жидких сред, их пространственного распределения и их анизотропии в объеме скважины и околоскважинном пространстве. Способ изготовления электромагнитного сканера включает выполнение в продолговатом корпусе сканера выемок, установку в выемки по меньшей мере одного передатчика, излучающего электромагнитное поле, и по меньшей мере одного приемника, принимающего электромагнитное поле, каждый из которых содержит антенны и электронные платы, при этом предварительно собирают по меньшей мере одну антенну путем намотки на диэлектрическую основу проводника, в каждую из выемок, предназначенных для установки антенн и выполненных в корпусе прибора, вставляют по меньшей мере одну диэлектрическую основу с намотанным проводником, представляющую собой антенну в собранном виде. Также описан электромагнитный сканер, выполненный вышеуказанным способом. Технический результат заключается в повышении эффективности используемых в приборе вставляемых антенн и улучшении метрологических характеристик прибора, повышении ремонтпригодности и производственной технологичности прибора в сравнении с известными аналогами за счет конструкции и способа сборки, измерения полной матрицы коэффициентов передачи магнитного поля трехкомпонентными приемником и передатчиком на двух или более частотах и, следовательно, повышении полноты и достоверности определения величины, распределения и анизотропии электрических свойств в скважине и околоскважинном пространстве вне зависимости от ориентации прибора, упрощении обработки и интерпретации данных за счет того, что приемник и передатчик выполнены секторным методом и, следовательно, имеют более компактные размеры, что является предпочтительным с точки зрения теоретического описания чувствительности прибора к электрическим свойствам окружающего пространства, повышении точности описания электрических свойств окружающего прибор пространства и, следовательно, повышении качества строительства скважин и разведки полезных ископаемых по совокупности особенностей построения прибора.

B1

036852

036852 B1

Область техники, к которой относится изобретение

Изобретение относится к геофизическому оборудованию для исследований скважин методом электромагнитного каротажа и предназначено для исследования электрических свойств горных пород и жидких сред, их пространственного распределения и их анизотропии в объеме скважины и околоскважинном пространстве.

Уровень техники

Известны скважинные каротажные устройства, действие которых основано на распространении электромагнитных волн и которые используются для измерения основных параметров, например амплитуды и фазового сдвига электромагнитных волн, распространяющихся через среду, чтобы определить специфические свойства среды.

В каротажных приборах, основанных на распространении электромагнитных волн, обычно используют многочисленные продольно разнесенные передающие и приемные антенны, размещенные в продольном корпусе прибора и работающие на одной или более частотах. Электромагнитная волна распространяется от передающей антенны в породе вблизи ствола скважины и принимается приемной антенной (антеннами). Объединяя основные измерения фазы и амплитуды, можно определить множество параметров, представляющих интерес, в том числе УЭС, диэлектрическую проницаемость, их анизотропию и пространственное распределение.

Удельное электрическое сопротивление (УЭС) и диэлектрическая проницаемость являются важными свойствами подземных горных пород, определяемыми при геологических изысканиях и разведке на нефть, газ и другие полезные ископаемые, потому что многие ископаемые, углеводороды и их залежи имеют характерные значения УЭС или диэлектрической проницаемости. Таким образом, величина УЭС и диэлектрической проницаемости часто является показателем наличия и количества нефти, газа или других полезных ископаемых.

Указанные устройства используются при геофизических исследованиях (каротаже) скважин как в процессе бурения, так и после окончания бурения. Обычно бурение скважин на нефть и газ состоит из нескольких этапов. Сначала бурится вертикальная разведочная скважина. Затем проводят технологические операции, связанные с укреплением ствола скважины. После чего пробуривают боковые горизонтальные скважины с целью повысить отдачу от нефти или газоносного пласта.

При бурении вертикальной разведочной скважины каротажное оборудование во время бурения, как правило, не используется и каротаж проводится после бурения с целью определить потенциально нефть/газоносные пласты и глубину их залегания. В этом случае каротаж проводится оборудованием, спускаемым на каротажном кабеле (кабельное оборудование, англ. обозначение Wireline).

Бурение наклонных и горизонтальных скважин, как правило, производится с использованием оборудования для измерения во время бурения (англ. обозначение MWD) и для каротажа во время бурения (англ. обозначение LWD). Это связано с тем, что глубина залегания нефть/газоносных пластов может существенно меняться и без оперативного контроля положения скважины и свойств горных пород в околоскважном пространстве велика вероятность выхода скважины из продуктивного пласта или построение неоптимальной скважины с точки зрения нефти/газоотдачи.

Каротаж во время бурения может применяться при бурении вертикальной скважины с целью оперативного контроля вскрытых пластов и с целью остановки бурения сразу после достижения глубины залегания нефть/газоносных пластов.

В устройствах электромагнитного каротажа, которые зачастую называют приборами индукционного каротажа, работающих на кабеле, как правило, используются коаксиальные антенны с направлением магнитного момента вдоль оси прибора. Такая конфигурация антенн хорошо работает в вертикальных скважинах и скважинах с небольшим углом наклона, позволяет выделять границы пластов, определять горизонтальную компоненту УЭС и оценивать фильтрационные свойства пластов. Индукционные приборы с коаксиальной конфигурацией антенн в основном выполняют возложенные на них задачи.

Коаксиальная конфигурация антенн традиционно используется и в индукционных приборах для каротажа во время бурения. Однако в этом случае информации, получаемой с таких устройств, недостаточно чтобы охарактеризовать и учесть влияние анизотропии, а также чтобы определить направление и расстояние до границ пластов. В результате подобные приборы не позволяют заблаговременно корректировать траекторию скважины и поэтому ограничены в применении.

Современные приборы индукционного каротажа содержат антенны с различными направлениями магнитного момента, за счет чего способны более полно и достоверно характеризовать электрические свойства околоскважинного пространства. Производство антенн с направлением магнитного момента, не совпадающим с осью прибора, в условиях ограниченного объема и сложных условий эксплуатации сопряжено с большими трудностями. Поэтому существующие приборы, как правило, содержат ограниченное количество антенн, направление магнитного момента которых не совпадает с осью прибора, и, кроме того, большинство из таких антенн представляют собой стандартные коаксиальные антенны, деформированные таким образом, чтобы их магнитный момент был наклонен к оси прибора (патент US 7138803 B2, 21.11.2006).

Известно устройство каротажа сопротивлений с совмещенными антеннами (RU 2459221 C2,

20.08.2012), предполагающее наличие антенн с направлением магнитного момента, перпендикулярным к оси прибора. Данное устройство содержит продолговатый элемент скважинного прибора, первую группу выемок, выполненных в заданном месте в продолговатом элементе скважинного прибора, и первый электрический проводник, проложенный через первую группу выемок с образованием первой антенны, имеющей первую ориентацию, и вторую группу выемок, выполненных в указанном заданном месте продолговатого элемента скважинного прибора, и второй электрический проводник, проложенный через вторую группу выемок с образованием второй антенны, имеющей вторую ориентацию, таким образом, что, по существу, в одном месте элемента скважинного прибора сформированы первая и вторая антенны, причем антенны расположены в одном месте относительно продольной оси и радиальной оси элемента скважинного прибора. В группу выемок, сделанных в корпусе прибора, вставляется проводник, который вместе с корпусом и выемками образует антенну. При этом в описании изобретения указано, что выемки сообщаются между собой посредством отверстий, через которые и укладывается проводник. Выемки по описанию и по смыслу предназначены для прохождения по ним магнитного поля, что само по себе предполагает то, что выемки сделаны в металле, так как в противном случае магнитное поле без труда распространяется в корпусе прибора и выемки не нужны.

Недостатками данного аналога является то, что проводник, который вместе с корпусом и выемками образует антенну, вставляется не в одну выемку, а в группу выемок, сделанных в корпусе прибора и сообщающихся между собой посредством отверстий. Процесс прокладки проводника через большое количество отверстий представляется затруднительным, особенно если антенна должна содержать множество витков, что, например, необходимо с точки зрения эффективности приемной антенны. Таким образом, подобная конструкция антенн значительно усложняет как производство прибора, так и его обслуживание. Кроме того, в случае если корпус прибора металлический, такие антенны менее эффективны в сравнении с антеннами, изготовленными отдельно и установленными в специально подготовленные выемки, так как у таких антенн часть проводника, проложенная в отверстиях, не участвует в излучении электромагнитного поля, но вносит вклад в активное сопротивление и в паразитную емкость. Понижение эффективности антенн приводит к ухудшению точности определения пространственного распределения удельного электрического сопротивления и ухудшению качества строительства нефтегазовых скважин.

Раскрытие изобретения

Технической задачей, которую решает предлагаемое изобретение, является исследование электрических свойств их распределения и анизотропии в скважине и околоскважинном пространстве методом электромагнитного каротажа. Исследования могут проводиться с целью: (i) повышения качества строительства нефтегазовых скважин за счет оперативной интерпретации результатов измерений, (ii) составления геологических разрезов, (iii) определения глубины залегания и оценки запасов полезных ископаемых, (iv) определения состояния ствола скважины, наличия каверн и трещин.

Технический результат заключается в:

(i) повышении эффективности используемых в приборе вставляемых антенн и улучшении метрологических характеристик прибора,

(ii) повышении ремонтпригодности и производственной технологичности прибора в сравнении с известными аналогами за счет конструкции и способа сборки,

(iii) измерении полной матрицы коэффициентов передачи магнитного поля трехкомпонентными приемником и передатчиком на двух или более частотах и, следовательно, повышении полноты и достоверности определения величины, распределения и анизотропии электрических свойств в скважине и околоскважинном пространстве вне зависимости от ориентации прибора,

(iv) упрощении обработки и интерпретации данных за счет того, что приемник и передатчик выполнены секторным методом и, следовательно, имеют более компактные размеры, что является предпочтительным с точки зрения теоретического описания чувствительности прибора к электрическим свойствам окружающего пространства,

(v) повышении точности описания электрических свойств окружающего прибор пространства и, следовательно, повышении качества строительства скважин и разведки полезных ископаемых по совокупности особенностей построения прибора.

Для решения поставленной задачи с достижением заявленного технического результата способ изготовления электромагнитного сканера включает следующие стадии: в продолговатом корпусе электромагнитного сканера выполняют выемки, устанавливают в выемки по меньшей мере один передатчик, излучающий электромагнитное поле и по меньшей мере один приемник, принимающий электромагнитное поле, каждый из которых содержит антенны и электронные платы, предварительно собирают по меньшей мере одну антенну путем намотки на диэлектрическую основу проводника, в каждую выемку, предназначенную для установки антенн и сделанную в корпусе прибора, вставляют по меньшей мере одну диэлектрическую основу с намотанным проводником, представляющую собой антенну в собранном виде.

Собранные антенны, вставленные в выемки, выполненные в корпусе, закрывают диэлектрическими крышками или композитными крышками, состоящими из металла и диэлектрика.

Антенны работают по меньшей мере на двух заданных частотах из радиоволнового диапазона.

Корпус электромагнитного сканера может выполняться разборным и содержать продолговатый элемент шасси и по меньшей мере одну втулку, выполненную в виде полого цилиндра. Втулки последовательно в заданном порядке надеваются на шасси и крепятся на шасси подходящим разъемным соединением, предотвращающим проворот и смещение втулок относительно шасси.

В корпус электромагнитного сканера устанавливается по меньшей мере один передатчик, излучающий электромагнитное поле, и по меньшей мере один приемник, принимающий электромагнитное поле. Приемник и передатчик содержат по меньшей мере по три антенны и по меньшей мере по три антенны в приемнике и передатчике имеют линейно независимые направления магнитного момента.

Не менее двух антенн по меньшей мере одного приемника и одного передатчика устанавливаются в одном месте вдоль длины корпуса таким образом, что поперечное сечение корпуса условно делится на сектора, и каждая антенна устанавливается в свой сектор.

Электромагнитный сканер, выполненный указанным выше способом, содержит корпус, выемки, выполненные в корпусе, установленные в выемках антенны и электронные платы, при этом в каждую выемку, выполненную в корпусе и предназначенную для установки антенн, установлена по меньшей мере одна антенна.

Антенны, вставленные в выемки, выполненные в корпусе, закрыты диэлектрическими крышками или композитными крышками, выполненными из диэлектрика и металла.

Антенны способны работать по меньшей мере на двух заданных частотах из радиоволнового диапазона.

Корпус сканера выполнен разборным и содержит продолговатый элемент шасси и по меньшей мере одну втулку, выполненную в виде полого цилиндра, в собранном виде втулки надеты на шасси в заданном порядке и закреплены на шасси подходящим разъемным соединением, предотвращающим проворот и смещение втулок относительно шасси.

Электромагнитный сканер содержит по меньшей мере один передатчик, излучающий электромагнитное поле, и по меньшей мере один приемник, принимающий электромагнитное поле, которые содержат по меньшей мере по три антенны и по меньшей мере по три антенны в приемнике и передатчике имеют линейно независимые направления магнитного момента.

Не менее двух антенн по меньшей мере одного приемника и одного передатчика установлены в одном месте вдоль длины корпуса таким образом, что каждая антенна расположена в своем секторе поперечного сечения корпуса.

Поперечное сечение корпуса имеет три, или четыре, или шесть, или восемь секторов, предназначенных для установки антенн приемника или передатчика, при этом при выполнении трех секторов каждая антенна установлена в своем секторе в такой последовательности, что магнитный момент первой антенны направлен поперек оси корпуса, магнитный момент второй антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 120° относительно первой антенны, а магнитный момент третьей антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 120° относительно второй антенны, при выполнении четырех секторов каждая антенна установлена в своем секторе в такой последовательности, что магнитный момент первой антенны направлен поперек оси корпуса, магнитный момент второй антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно первой антенны, магнитный момент третьей антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно второй антенны, а магнитный момент четвертой антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно третьей антенны при выполнении шести секторов, каждая антенна установлена в своем секторе в такой последовательности, что магнитный момент первой антенны направлен поперек оси корпуса, магнитный момент второй антенны направлен вдоль оси корпуса, магнитный момент третьей антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 120° относительно первой антенны, магнитный момент четвертой антенны направлен вдоль оси корпуса, магнитный момент пятой антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 120° относительно третьей антенны, а магнитный момент шестой антенны направлен вдоль оси корпуса, при выполнении восьми секторов каждая антенна установлена в своем секторе в такой последовательности, что магнитный момент первой антенны направлен поперек оси корпуса, магнитный момент второй антенны направлен вдоль оси корпуса, магнитный момент третьей антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно первой антенны, магнитный момент четвертой антенны направлен вдоль оси корпуса, магнитный момент пятой антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно третьей антенны, магнитный момент шестой антенны направлен вдоль оси корпуса, магнитный момент седьмой антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно пятой антенны, а магнитный момент восьмой антенны направлен вдоль оси корпуса.

Краткое описание чертежей

Фиг. 1 - схематическое изображение прибора.

Фиг. 2 - варианты посекторной укладки антенн двухосевых приемников или передатчиков.

Фиг. 3 - варианты посекторной укладки антенн трехосевых приемников или передатчиков.

Фиг. 4 - двухосевая посекторная укладка с дополнением до трехосевой.

На фигурах элементы обозначены следующими позициями:

1 - продолговатый корпус прибора,

- 2 - трехосевой передатчик,
- 3 - трехосевой приемник,
- 4 - декартова система координат, связанная с прибором,
- 5 - сектор для укладки первой антенны при трехсекторной укладке,
- 6 - сектор для укладки второй антенны при трехсекторной укладке,
- 7 - сектор для укладки третьей антенны при трехсекторной укладке,
- 8 - сектор для укладки первой антенны при четырехсекторной укладке,
- 9 - сектор для укладки второй антенны при четырехсекторной укладке,
- 10 - сектор для укладки третьей антенны при четырехсекторной укладке,
- 11 - сектор для укладки четвертой антенны при четырехсекторной укладке,
- 12 - сектор для укладки первой антенны при шестисекторной укладке,
- 13 - сектор для укладки второй антенны при шестисекторной укладке,
- 14 - сектор для укладки третьей антенны при шестисекторной укладке,
- 15 - сектор для укладки четвертой антенны при шестисекторной укладке,
- 16 - сектор для укладки пятой антенны при шестисекторной укладке,
- 17 - сектор для укладки шестой антенны при шестисекторной укладке,
- 18 - сектор для укладки первой антенны при шестисекторной укладке,
- 19 - сектор для укладки второй антенны при шестисекторной укладке,
- 20 - сектор для укладки третьей антенны при шестисекторной укладке,
- 21 - сектор для укладки четвертой антенны при шестисекторной укладке,
- 22 - сектор для укладки пятой антенны при шестисекторной укладке,
- 23 - сектор для укладки шестой антенны при шестисекторной укладке,
- 24 - сектор для укладки седьмой антенны при шестисекторной укладке,
- 25 - сектор для укладки восьмой антенны при шестисекторной укладке,
- 26 - антенны с секторной укладкой и с двумя линейно независимыми направлениями моментов, ортогональными оси прибора,
- 27 - коаксиальная антенна с направлением магнитного момента вдоль оси прибора.

Осуществление изобретения

Электромагнитный 3D-сканер предназначен для применения как в бурящихся скважинах, так и в уже пробуренных скважинах.

В первом случае электромагнитный 3D-сканер эксплуатируется в составе оборудования для каротажа во время бурения, которое входит в так называемую компоновку низа бурильной колонны (КНБК), буровой колонны для бурения в толще горных пород. Бурение с помощью буровой колонны осуществляется на базе бурового комплекса, включающего целый ряд устройств и приспособлений для осуществления бурения. Процесс и оборудование бурения скважин хорошо известны и поэтому здесь подробно не рассматриваются. Оборудование для каротажа во время бурения включает в себя (i) источник электрического питания, который, например, может быть выполнен в виде батареи из химических элементов питания или в виде генератора электрического тока, приводимого в действие потоком бурового раствора; (ii) датчики и устройства для выполнения различных измерений, связанных со строительством и эксплуатацией скважины, к которым, например, относятся приборы гамма-каротажа, инклинометрические приборы, предназначенные для измерения зенитного и азимутального угла буровой колонны, электромагнитные каротажные приборы, к которым относится электромагнитный 3D-сканер; (iii) телеметрическую систему, которая обеспечивает передачу полученной информации на поверхность земли и, возможно, принимает управляющие сигналы с поверхности земли, для передачи информации могут использоваться различные каналы связи, например гидравлический, электромагнитный каналы или проводной канал, составные части которого встроены в буровые трубы. В процессе бурения данные, полученные с помощью электромагнитного 3D-сканера, передаются на поверхность земли, с помощью какого-либо канала связи, например с помощью гидравлического или с помощью электромагнитного канала связи. Полученные в процессе бурения данные с электромагнитного 3D-сканера используются для геонавигации и управления направлением бурения. Кроме того, данные пишутся в энергонезависимую память оборудования или прибора.

В случае использования электромагнитного 3D-сканера в уже пробуренных скважинах он эксплуатируется в составе оборудования для каротажа на кабеле, который проводится в вертикальных разведочных скважинах (каротаж на кабеле) или горизонтальных и наклонных скважинах (каротаж на жестком кабеле или трубах), для определения глубины залегания продуктивных нефте/газоносных пластов и оценки их продуктивности и величины запасов. Электрическое питание оборудования производится по каротажному кабелю или от автономного источника питания, представляющего из себя батарею химических элементов питания. Аналогично случаю каротажа во время бурения оборудование для каротажа на кабеле включает датчики и устройства для выполнения различных измерений, в том числе электромагнитный 3D-сканер. Данные, полученные электромагнитным -сканером в процессе каротажа, передаются на поверхность земли по каротажному кабелю или пишутся в энергонезависимую память оборудования или прибора и используются для поиска нефте/газоносных пластов, определения глубины их залегания и

оценки их продуктивности.

Процесс каротажа и оборудование для проведения каротажа с использованием перечисленных выше методов хорошо известны из уровня техники и здесь рассмотрены лишь поверхностно.

Электромагнитный 3D-сканер состоит из

продолговатого корпуса, обеспечивающего размещение и фиксацию элементов прибора, защиту элементов от внешних физических воздействий;

по меньшей мере одного приемника и передатчика, содержащих приемные и передающие антенны соответственно, обеспечивающие излучение и прием электромагнитного поля;

электронных плат, соединительных проводов и разъемов, обеспечивающих работу антенн, измерение, обработку, передачу и хранение информации;

электрического источника питания, который может быть как внешним, так и внутренним.

Электромагнитный 3D-сканер содержит по меньшей мере один трехосевой передатчик 2 и один трехосевой приемник 3, которые работают на двух или более частотах из радиодиапазона. Под приемником и передатчиком здесь и далее подразумевается совокупность из одной или более антенн и соответствующих электронных плат. Трехосевые приемники 3 и передатчики 2 содержат по меньшей мере три антенны с линейно независимым направлением магнитного момента. Магнитные моменты параллельны осям декартовой системы координат 4.

При подаче электрического питания электронные платы последовательно подают на каждую из передающих антенн переменный электрический ток. В результате в окружающем пространстве возбуждается первичное переменное электромагнитное поле, которое, в свою очередь, возбуждает индукционные токи. Распределение токов в пространстве определяется распределением и анизотропией электрических свойств в окружающем антенну объеме. Индуцированные токи являются источниками вторичного электромагнитного поля, которое вместе с первичным полем вызывает ЭДС индукции во всех приемных антеннах электромагнитного 3D-сканера. ЭДС индукции, наведенные на антеннах, измеряется соответствующими антеннами электронными платами.

За счет наличия трех линейно независимых магнитных моментов в трехосевых передатчике и приемнике прибор позволяет получить полную матрицу коэффициентов передачи \vec{h} магнитного поля от передатчика к приемнику, которая определяется следующими уравнениями:

$$V_{Ri,Tj} = i\omega\mu_0 S_{Ri}S_{Tj} I_{Tj} \vec{m}_{Ri} \vec{h} \vec{m}_{Tj}, \quad i, j = 1, 2, 3$$

$$\vec{h} = \begin{pmatrix} h_{xx} & h_{yx} & h_{zx} \\ h_{xy} & h_{yy} & h_{zy} \\ h_{xz} & h_{yz} & h_{zz} \end{pmatrix}$$

где i - комплексная единица, ω - круговая частота, μ_0 - магнитная постоянная, $V_{Ri,Tj}$ - ЭДС индукции в приемной антенне i при работе передающей антенны j , S_{Ri} и S_{Tj} - полная площадь i -й приемной антенны и j -й передающей антенны соответственно, I_{Tj} - ток в j -й передающей антенне, \vec{m}_{Ri} и \vec{m}_{Tj} - единичные векторы направления магнитного момента i -й приемной антенны и j -й передающей антенны соответственно. Используя матрицу коэффициентов передачи магнитного поля \vec{h} , можно охарактеризовать величину УЭС и анизотропию УЭС и величину и анизотропию диэлектрической проницаемости вне зависимости от ориентации прибора, а наличие по меньшей мере двух частот и одновременное измерение, как запаздывания, так и затухания (\vec{h} - комплексна), прошедшего через среду электромагнитного поля, позволяет зафиксировать и охарактеризовать неоднородность УЭС и диэлектрической проницаемости. Благодаря этому электромагнитный 3D-сканер способен решать следующие задачи:

позиционирование прибора относительно кровли и/или подошвы геологического пласта;

определение распределения электрических свойств и их анизотропии горных пород и жидких сред в объеме скважины и в околоскважинном пространстве.

Корпус электромагнитного 3D-сканера может быть выполнен различным, обеспечивающим достаточную прочность и защиту устройства от внешних условий.

Для применения в составе оборудования для каротажа во время бурения корпус электромагнитного 3D-сканера может быть изготовлен из бурильной трубы, предпочтительно выполненной из немагнитного материала.

В теле трубы выполняются выемки под размещение антенн и электронных плат. Выемки сообщаются между собой посредством каналов. Также при необходимости выполняются технологические выемки, дополнительно облегчающие монтаж устройства. Выемки и каналы между выемками можно заполнить разными способами, например механической обработкой (точение, фрезерование, сверление и т.д.), литьем, методом обработки материалов давлением (штамповка, ковка и т.д.) или электрохимической обработкой. Выемки закрываются крышками, которые обеспечивают герметичность выемки относительно внешней среды. Крышки, предназначенные для выемок, в которых размещена хотя бы одна антенна, выполняются с применением диэлектрических материалов, обеспечивающих прохождение электромагнитного поля из соответствующей выемки наружу и обратно. Например, такие крышки могут быть

полностью диэлектрическими или диэлектрическими с механическим усилением металлическими вставками в заданных местах или металлическими с отверстиями, заполненными диэлектрическим материалом. Герметичность крышек обеспечивается уплотнительными элементами, проложенными между крышкой и корпусом. Крепление крышек производится любым подходящим образом. Могут применяться как разъемные соединения, как то: болтовые, винтовые, шпоночные, штифтовые и др., так и неразъемные, как то: склейка, пайка, сварка.

Антенны представляют из себя диэлектрическую основу с намотанным на нее проводником. Основа может быть выполнена как из магнитного, так из немагнитного диэлектрического материала. Проводник выполняется из хорошо проводящих металлов, например медь, и может иметь произвольное сечение, например круглое или прямоугольное, с большим отношением ширины к толщине (фольга). Чтобы улучшить электротехнические качества антенн и скомпенсировать паразитные контура, меняющие направление магнитного момента от целевого, намотка проводника на основу может производиться различными способами, например может использоваться бифилярная или секционная намотка. Как правило, на основе антенны делаются технологические каналы и выступы, повышающие детерминированность намотки. Антенны собираются отдельно от электромагнитного сканера и представляют из себя отдельные устройства, которые при монтаже прибора вставляются в соответствующие выемки. Это позволяет (i) контролировать качество изготовления антенн и их эксплуатационные характеристики; (ii) упрощает производство прибора, его ремонт и технологическое обслуживание; (iii) позволяет добиться лучших технических характеристик прибора, так как такие антенны обладают лучшими электротехническими качествами по сравнению с антеннами, известными из уровня техники. Антенны крепятся в выемках любым подходящим образом. Могут применяться как разъемные соединения, как то: болтовые, винтовые, шпоночные, штифтовые и др., так и неразъемные, как то: склейка, пайка, сварка.

Электронные платы могут содержать активные и пассивные электронные компоненты, микроконтроллеры, микропроцессоры и ПЛИС. Электронные платы обеспечивают работу антенн, измерение характеристик прошедшего через среду поля и при необходимости обработку, передачу и хранение результатов измерения.

Монтаж прибора происходит в следующей последовательности: (i) прокладываются соединительные и, возможно, транзитные провода по каналам корпуса, монтируются и подключаются разъемы; (ii) электронные платы вставляются в соответствующие выемки и подключаются к проводам; (iii) в соответствующие выемки вставляются антенны и подключаются к электронным платам; (iv) выемки закрываются крышками.

Также при необходимости стандартные коаксиальные антенны или антенны с наклонным направлением магнитного момента могут быть смонтированы на корпус, например, основание антенны может состоять из нескольких частей, которые собираются в выемке корпуса, после чего производится намотка проводника на готовое основание.

Корпус устройства может быть выполнен разборным и содержать шасси и втулки. Шасси выполняется следующим образом, на наружной поверхности трубы выполнены посадочные места для установки электронных плат, соединительные каналы и технологические выемки. Втулки представляют из себя полые цилиндры, в некоторых из которых выполнены выемки для установки антенн и/или технологические выемки с соответствующими крышками. На внутренней поверхности втулок и наружной поверхности шасси выполнены элементы или механизмы, предотвращающие проворот втулок относительно трубы. Антенны, крышки и электронные платы аналогичны предыдущему варианту исполнения.

В этом случае монтаж прибора происходит в следующей последовательности: (i) в шасси прибора прокладываются соединительные и, возможно, транзитные провода, монтируются и подключаются разъемы; (ii) электронные платы монтируются на соответствующие посадочные места и подключаются к проводам; (iii) антенны вставляются в соответствующие выемки на втулках; (iv) "пустые" втулки и втулки с установленными антеннами последовательно надеваются на трубу; (v) антенны подключаются к соответствующим электронным платам; (vi) установленные втулки крепятся на соответствующих им местах; (vii) технологические выемки и выемки под антенны закрываются соответствующими крышками.

В описанном варианте крышки на втулке с антеннами могут быть выполнены в виде цилиндрического кожуха. Герметизация таких крышек может проходить не только между крышкой и соответствующей втулкой, но и между крышкой и соседними втулками. Монтаж таких крышек производится сразу после монтажа соответствующей втулки.

В случае применения в составе оборудования для каротажа на кабеле корпус электромагнитного 3D-сканера может быть, например, изготовлен и смонтирован в целом аналогично предыдущему способу. Главное отличие заключается в том, что при каротаже на кабеле нет необходимости во внутреннем пространстве трубы, по которому в случае каротажа во время бурения циркулирует буровой раствор. Поэтому вместо трубы может использоваться сплошной цилиндр, или внутреннее пространство трубы может быть использовано в качестве канала для прокладки соединительных проводов.

Прибор может содержать не только трехосевые приемники и передатчики, но и двух- и одноосевые, которые по аналогии с трехосевыми должны включать в себя не менее двух (двухосевые) и одной (одно-

осевые) антенн с линейно независимыми магнитными моментами. Примерами одноосевых приемников (передатчиков) служат коаксиальные и наклонные приемники (передатчики), известные из уровня техники.

Конфигурация и количество антенн в приемнике (передатчике) могут быть существенно разными. Один из вариантов - посекторное расположение антенн в заданном поперечном сечении прибора. В этом варианте кольцевое поперечное сечение прибора условно делится на сектора по количеству антенн, и каждая из антенн располагается в своем секторе.

Характерные варианты посекторной укладки антенн продемонстрированы на фиг. 2 и 3.

Поперечное сечение корпуса может иметь три, или четыре, или шесть, или восемь секторов, предназначенных для установки антенн приемника или передатчика. При выполнении трех секторов каждая антенна установлена в своем секторе в такой последовательности, что магнитный момент первой антенны 5 направлен поперек оси корпуса, магнитный момент второй антенны 6 направлен поперек оси корпуса и повернут на 120° относительно первой антенны 5, а магнитный момент третьей антенны 7 направлен поперек оси корпуса и повернут на 120° относительно второй антенны 6. При выполнении четырех секторов каждая антенна установлена в своем секторе в такой последовательности, что магнитный момент первой антенны 8 направлен поперек оси корпуса, магнитный момент второй антенны 9 направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно первой антенны 8, магнитный момент третьей антенны 10 направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно второй антенны 9, а магнитный момент четвертой антенны 11 направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно третьей антенны 10. При выполнении шести секторов каждая антенна установлена в своем секторе в такой последовательности, что магнитный момент первой антенны 12 направлен поперек оси корпуса, магнитный момент второй антенны 13 направлен вдоль оси корпуса, магнитный момент третьей антенны 14 направлен поперек оси корпуса и повернут на 120° относительно первой антенны 12, магнитный момент четвертой антенны 15 направлен вдоль оси корпуса, магнитный момент пятой антенны 16 направлен поперек оси корпуса и повернут на 120° относительно третьей антенны 14, а магнитный момент шестой антенны 17 направлен вдоль оси корпуса. При выполнении восьми секторов каждая антенна установлена в своем секторе в такой последовательности, что магнитный момент первой антенны 18 направлен поперек оси корпуса, магнитный момент второй антенны 19 направлен вдоль оси корпуса, магнитный момент третьей антенны 20 направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно первой антенны 18, магнитный момент четвертой антенны 21 направлен вдоль оси корпуса, магнитный момент пятой антенны 22 направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно третьей антенны 20, магнитный момент шестой антенны 23 направлен вдоль оси корпуса, магнитный момент седьмой антенны 24 направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно пятой антенны 22, а магнитный момент восьмой антенны 25 направлен вдоль оси корпуса.

На фиг. 2 продемонстрированы двухосевые варианты укладки с тремя и четырьмя антеннами, а на фиг. 3 - трехосевые варианты укладки с шестью и восьмью антеннами.

В случае двухосевой посекторной укладки, примеры которой приведены на фиг. 2, приемник или передатчик можно дополнить до трехосевого дополнительными антеннами, расположенными неподалеку вдоль оси прибора. Например, двухосевая укладка с магнитными моментами антенн 26, ортогональными оси прибора, может быть дополнена коаксиальной антенной 27 (фиг. 4).

Преимуществом такого метода укладки антенн является то, что большое количество антенн может быть расположено в одном месте вдоль длины корпуса прибора. Благодаря чему сокращаются габариты приемников и передатчиков прибора. Приемники и передатчики с меньшими габаритами лучше поддаются теоретическому описанию с точки зрения их чувствительности к электрическим свойствам окружающего пространства, что, в свою очередь, приводит к повышению точности описания электрических свойств среды в окружающем прибор пространстве.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ изготовления электромагнитного сканера, включающий выполнение в продолговатом корпусе сканера выемок, установку в выемки по меньшей мере одного передатчика, излучающего электромагнитное поле, и по меньшей мере одного приемника, принимающего электромагнитное поле, каждый из которых содержит антенны и электронные платы, отличающийся тем, что не менее двух антенн с линейно независимым направлением магнитного момента по меньшей мере одного приемника и одного передатчика устанавливаются в одном месте вдоль длины корпуса таким образом, что поперечное сечение корпуса условно делится на сектора и каждая антенна устанавливается в свой сектор, при этом по меньшей мере одну антенну предварительно собирают путем намотки на диэлектрическую основу проводника, в каждую из выемок, предназначенных для установки антенн и выполненных в корпусе прибора, вставляют по меньшей мере одну диэлектрическую основу с намотанным проводником, представляющую собой антенну в собранном виде.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что собранные антенны, вставленные в выемки, выполненные в корпусе, закрывают диэлектрическими крышками.

3. Способ по п.1, отличающийся тем, что собранные антенны, вставленные в выемки, выполненные в корпусе, закрывают композитными крышками, состоящими из металла и диэлектрика.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что антенны работают по меньшей мере на двух заданных частотах из радиоволнового диапазона.

5. Способ по п.1, отличающийся тем, что корпус сканера выполняется разборным и содержит продолговатый элемент шасси и по меньшей мере одну втулку, выполненную в виде полого цилиндра, втулки последовательно в заданном порядке надевают на шасси и крепят на шасси подходящим разъемным соединением, предотвращающим проворот и смещение втулок относительно шасси.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что включает установку по меньшей мере одного передатчика, излучающего электромагнитное поле, и по меньшей мере одного приемника, принимающего электромагнитное поле, которые содержат по меньшей мере по три антенны, имеющие линейно независимые направления магнитного момента.

7. Электромагнитный сканер для исследований скважин, содержащий корпус, выемки, выполненные в корпусе, установленные в выемках антенны и электронные платы, причем не менее двух антенн с линейно независимым направлением магнитного момента по меньшей мере одного приемника и одного передатчика установлены в одном месте вдоль длины корпуса таким образом, что поперечное сечение корпуса условно разделено на три, или четыре, или шесть, или восемь секторов и каждая антенна установлена в свой сектор, при этом в каждую из выемок, выполненных в корпусе и предназначенных для установки антенн, установлена по меньшей мере одна антенна, выполненная в виде диэлектрической основы с намотанным на нее проводником, причем при выполнении трех секторов каждая антенна установлена в своем секторе в такой последовательности, что магнитный момент первой антенны направлен поперек оси корпуса, магнитный момент второй антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 120° относительно первой антенны, а магнитный момент третьей антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 120° относительно второй антенны при выполнении четырех секторов, каждая антенна установлена в своем секторе в такой последовательности, что магнитный момент первой антенны направлен поперек оси корпуса, магнитный момент второй антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно первой антенны, магнитный момент третьей антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно второй антенны, а магнитный момент четвертой антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно третьей антенны, при выполнении шести секторов каждая антенна установлена в своем секторе в такой последовательности, что магнитный момент первой антенны направлен поперек оси корпуса, магнитный момент второй антенны направлен вдоль оси корпуса, магнитный момент третьей антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 120° относительно первой антенны, магнитный момент четвертой антенны направлен вдоль оси корпуса, магнитный момент пятой антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 120° относительно третьей антенны, а магнитный момент шестой антенны направлен вдоль оси корпуса, при выполнении восьми секторов каждая антенна установлена в своем секторе в такой последовательности, что магнитный момент первой антенны направлен поперек оси корпуса, магнитный момент второй антенны направлен вдоль оси корпуса, магнитный момент третьей антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно первой антенны, магнитный момент четвертой антенны направлен вдоль оси корпуса, магнитный момент пятой антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно третьей антенны, магнитный момент шестой антенны направлен вдоль оси корпуса, магнитный момент седьмой антенны направлен поперек оси корпуса и повернут на 90° относительно пятой антенны, а магнитный момент восьмой антенны направлен вдоль оси корпуса.

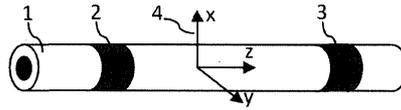
8. Электромагнитный сканер по п.7, отличающийся тем, что антенны, вставленные в выемки, выполненные в корпусе, закрыты диэлектрическими крышками.

9. Электромагнитный сканер по п.7, отличающийся тем, что антенны, вставленные в выемки, выполненные в корпусе, закрыты композитными крышками, состоящими из металла и диэлектрика.

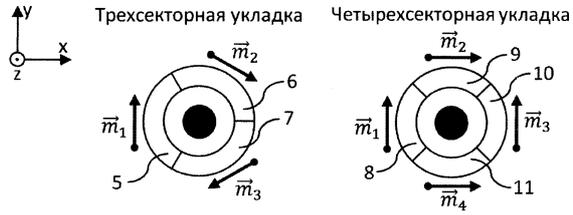
10. Электромагнитный сканер по п.7, отличающийся тем, что антенны способны работать по меньшей мере на двух заданных частотах из радиоволнового диапазона.

11. Электромагнитный сканер по п.7, отличающийся тем, что корпус сканера выполнен разборным и содержит продолговатый элемент шасси и по меньшей мере одну втулку, выполненную в виде полого цилиндра, в собранном виде втулки надеты на шасси в заданном порядке и закреплены на шасси подходящим разъемным соединением, предотвращающим проворот и смещение втулок относительно шасси.

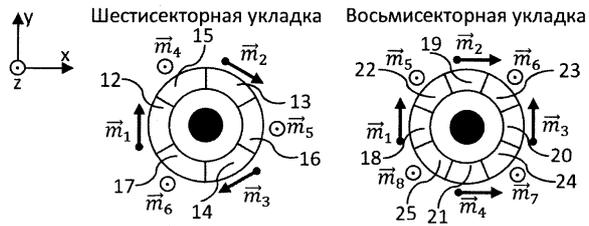
12. Электромагнитный сканер по п.7, отличающийся тем, что содержит по меньшей мере один передатчик, излучающий электромагнитное поле, и по меньшей мере один приемник, принимающий электромагнитное поле, которые содержат по меньшей мере по три антенны, имеющие линейно независимые направления магнитного момента.



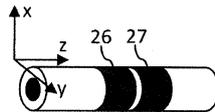
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

