



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G01V 3/14 (2018.08); G01R 33/44 (2018.08)

(21)(22) Заявка: 2018118572, 21.05.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
21.05.2018

Дата регистрации:
12.02.2019

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 21.05.2018

(45) Опубликовано: 12.02.2019 Бюл. № 5

Адрес для переписки:
420008, рес. Татарстан, г. Казань, ул.
Кремлевская, 18, стр. патентно-лицензионный
отдел, Назмиеву Ильдару Анасовичу

(72) Автор(ы):
Скирда Владимир Дмитриевич (RU),
Александров Артем Сергеевич (RU),
Мельникова Дарья Леонидовна (RU),
Дорогиницкий Михаил Михайлович (RU),
Гнездилов Олег Иванович (RU),
Мурзакаев Владислав Маркович (RU),
Брагин Алексей Викторович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Казанский (Приволжский)
федеральный университет" (ФГАОУ ВО
КФУ) (RU),
Общество с ограниченной ответственностью
"ТНГ-Групп" (ООО "ТНГ-Групп") (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2645909 C1, 28.02.2018. RU
2230345 C1, 10.06.2004. US 5471140 A,
28.11.1995. US 5488342 A, 30.01.1996. US
5739687 A, 14.04.1998. RU 2495458 C2,
10.10.2013.

(54) Способ ядерного магнитного каротажа и устройство для его реализации

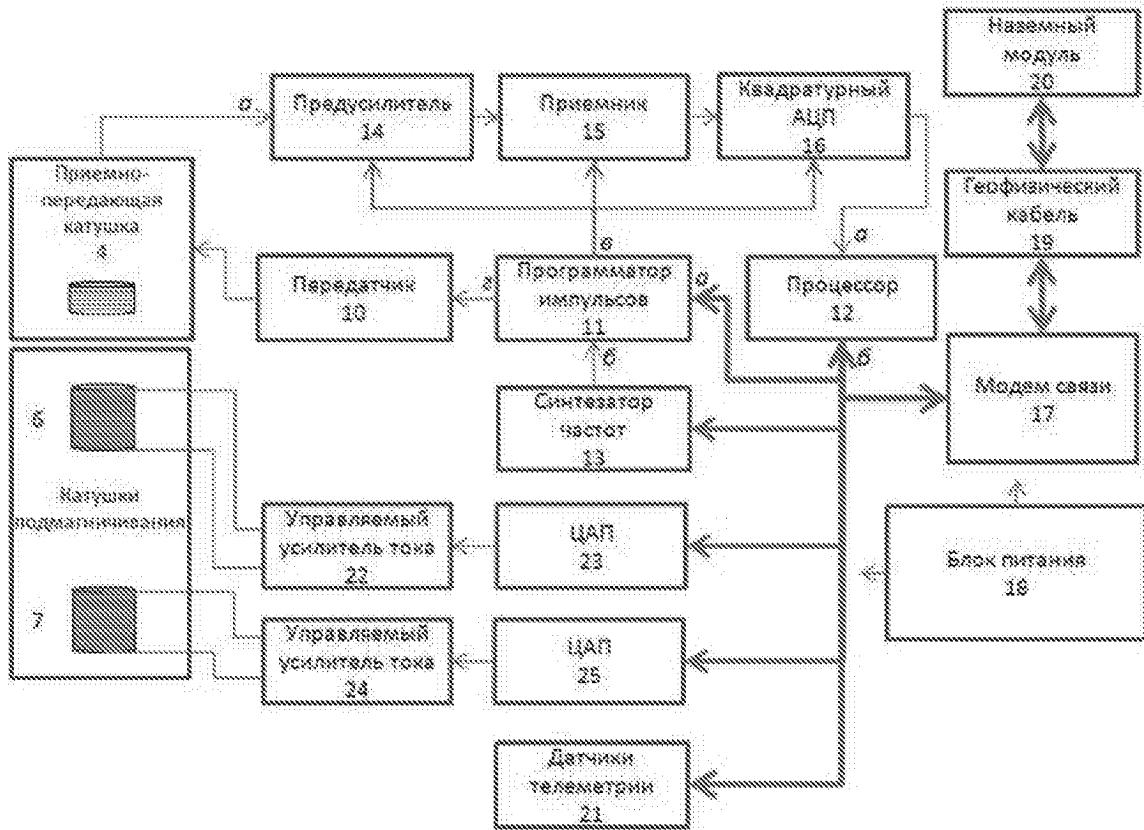
(57) Реферат:

Использование: для ядерного магнитного каротажа скважин. Сущность изобретения заключается в том, что перед началом действия импульсной последовательности в подмагничивающих катушках задают разницу токов при сохранении суммарного значения, так чтобы зона исследования, а именно зона, в которой выполняются условия ядерного магнитного резонанса, аксиально сместилась относительно плоскости, проходящей через центр зазора между магнитами перпендикулярно оси магнитов, в сторону движения устройства на величину ΔZ_0 , равную половине произведения заданных значений скорости каротажа V и

времени T действия импульсной последовательности КППМГ, далее в течение времени действия импульсной последовательности линейно изменяют значение разницы токов в катушках с такой скоростью, чтобы к концу действия импульсной последовательности зона исследования аксиально сместилась относительно плоскости, проходящей через указанный геометрический центр магнитной системы, в обратную от направления движения устройства сторону на величину $-\Delta Z_0$, синхронно с началом действия следующего цикла импульсной последовательности радиочастотных импульсов последовательность действий по

управлению токами в катушках повторяют с периодом, равным установленному периоду следования импульсных последовательностей, при этом начальные и конечные значения тока в катушках на участке линейной зависимости определяют, исходя из требования неизменности, в течение всей длительности импульсной последовательности координат исследуемой зоны относительно самой скважины с учетом заданных значений скорости каротажа V и времени действия импульсной последовательности T , а суммарное значение тока в катушках подмагничивания, обеспечивающее компенсацию температурной зависимости магнитной индукции постоянных магнитов, в течение процесса набора данных сохраняют постоянным или изменяют

асинхронно по отношению к импульсной последовательности, опираясь на данные, например, телеметрии. Технический результат: обеспечение возможности компенсации влияния скорости движения устройства ядерного магнитного каротажа вдоль ствола скважины на регистрируемые спектры времен релаксации и обеспечения возможности расширения диапазона скоростей каротажа при сохранении способности регулирования в процессе каротажа значения фокусированного магнитного поля в области исследования, а также для обеспечения возможности компенсации температурной зависимости остаточной индукции постоянных магнитов без ухудшения характеристики глубинности исследования. 2 н.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 2

RU 2679630 C1

RU 2679630 C1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
G01V 3/14 (2006.01)
G01R 33/44 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC
G01V 3/14 (2018.08); *G01R 33/44* (2018.08)

(21)(22) Application: **2018118572, 21.05.2018**

(24) Effective date for property rights:
21.05.2018

Registration date:
12.02.2019

Priority:

(22) Date of filing: **21.05.2018**

(45) Date of publication: **12.02.2019** Bull. № 5

Mail address:

**420008, res. Tatarstan, g. Kazan, ul. Kremlevskaya,
18, str. patentno-litsenzionnyj otdel, Nazmievu
Ildaru Anasovichu**

(72) Inventor(s):

**Skirda Vladimir Dmitrievich (RU),
Aleksandrov Artem Sergeevich (RU),
Melnikova Darya Leonidovna (RU),
Doroginitskij Mikhail Mikhajlovich (RU),
Gnezdilov Oleg Ivanovich (RU),
Murzakaev Vladislav Marksovich (RU),
Bragin Aleksej Viktorovich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego
obrazovaniya "Kazanskij (Privolzhskij)
federalnyj universitet" (FGAOU VO KFU) (RU),
Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennostyu
"TNG-Grupp" (OOO "TNG-Grupp") (RU)**

(54) **METHOD OF NUCLEAR MAGNETIC VOLTAGE AND A DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION**

(57) Abstract:

FIELD: physics.

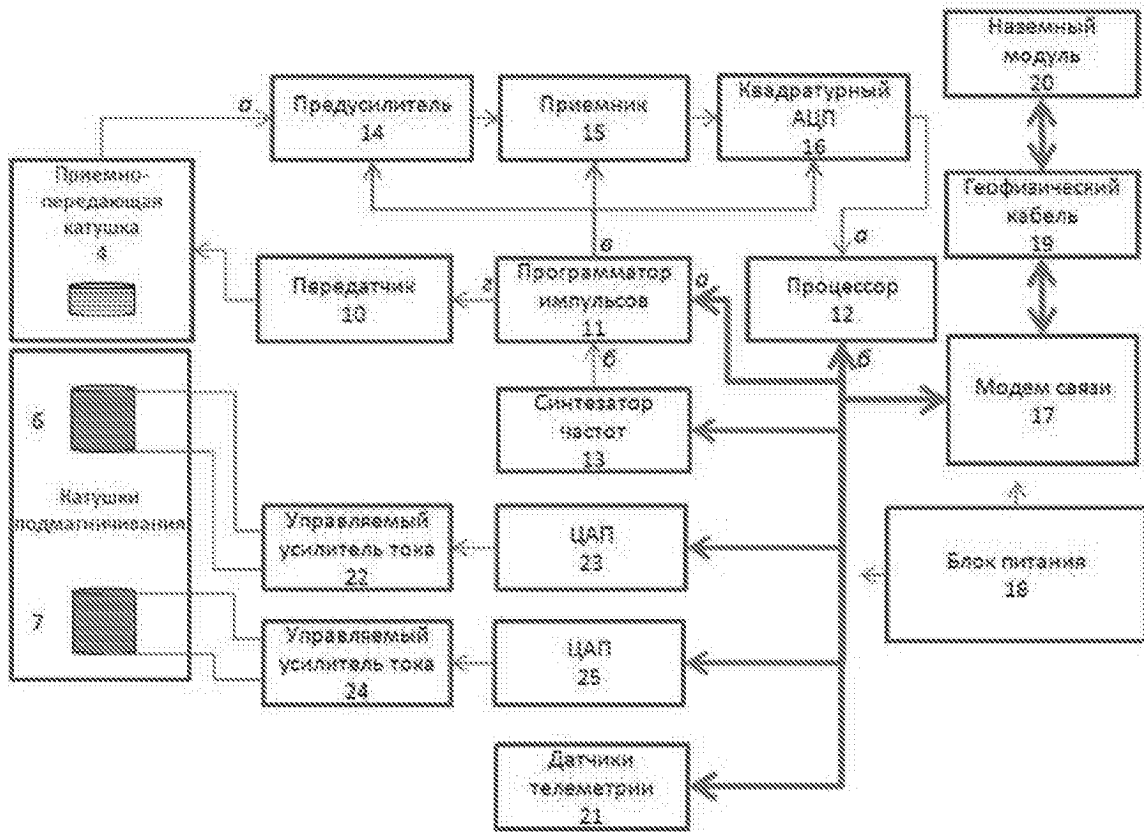
SUBSTANCE: using for nuclear magnetic well logging. Core of the invention is that before the start of the action of the pulse sequence the difference of currents is set in the magnetizing coils while maintaining the total value, so that the study area, namely, the zone in which the conditions of nuclear magnetic resonance are fulfilled is axially displaced relative to a plane passing through the center of the gap between the magnets perpendicular to the axis of the magnets, in the direction of movement of the device by the ΔZ_0 value, equal to half the product of the specified logging speed V and time T of the CPMG pulse sequence, then, during the time of the pulse sequence, the value of the difference of currents in the coils changes linearly with such a rate that by the end of the pulse sequence action the research zone is axially displaced relative to the plane passing through the specified geometric center of the magnetic system, in the direction opposite to the direction of movement of the device by ΔZ_0 value, synchronously with the beginning of the next cycle of the pulse sequence of

radio-frequency pulses, the sequence of actions the control of currents in the coils is repeated with a period equal to the specified period of the pulse sequences, while the initial and final values of the current, as well as the direction and rate of change of current in the coils in the linear dependency section, are determined based on the requirement of immutability, during the entire duration of the pulse sequence of coordinates of the investigated area relative to the well itself, taking into account the specified values of the logging speed V and the duration of the pulse sequence T , and the total value of the current in the bias coils, providing compensation for the temperature dependence of the magnetic induction of permanent magnets, during the data acquisition process, they are kept constant or changed asynchronously with respect to the pulse sequence, based on data such as telemetry.

EFFECT: providing the ability to compensate for the effect of the speed of movement of a nuclear magnetic logging device along the wellbore on the recorded relaxation time spectra and to ensure the possibility of expanding the range of logging speeds

while maintaining the ability of regulation in the logging process, the values of the focused magnetic field in the study area, as well as to ensure the possibility of compensating for the temperature dependence of the

residual induction of permanent magnets without degrading the characteristics of the depth of the study.
2 cl, 3 dwg



Фиг. 2

RU 2679630 C1

RU 2679630 C1

Предлагаемое изобретение относится к области исследования и/или анализа материалов с помощью ядерного магнитного резонанса (ЯМР). Может быть использовано преимущественно в устройствах, применяемых для ЯМР каротажа скважин. Прежде всего, заявленное техническое решение относится к способам и устройствам, в которых постоянные магниты используют для формирования тороидального фокусированного магнитного поля, используемого для ЯМР каротажа скважин.

Из исследованного уровня техники заявителем выявлены технические решения по патентам USA №4710713 [1] и USA №4350955 [2], которые направлены на повышение эффективности каротажа скважин с помощью ядерного магнитного резонанса (ЯМР) путем использования устройств для каротажа с постоянными магнитными системами. Общей сущностью известных изобретений является то, что в окружающем пространстве одним или несколькими постоянными магнитами генерируется относительно сильное магнитное поле, значение которого может быть существенно больше величины поля земли. Для возбуждения и регистрации сигнала ЯМР используют приемно-передающую антенну, в которой радиочастотными импульсами на частоте f_0 возбуждают спиновую систему, а в промежутках между импульсами регистрируют сигналы ЯМР, которые называются сигналами спинового эхо. Обычно для этих целей используют стандартную последовательность, называемую последовательностью Карра – Парселла – Мейбума – Гилла (далее КППМГ), которая состоит из одного 90° -ного и последующей серии 180° -ных радиочастотных импульсов. Первый радиочастотный импульс возбуждает сигнал ЯМР, а серия последующих импульсов предназначена для формирования в промежутках между 180° -ми импульсами сигналов спинового эхо. По скорости уменьшения амплитуд сигналов эхо во времени судят о временах поперечной релаксации, а по амплитуде сигнала в начальный момент формирования последовательности – об общем количестве в исследуемой зоне вещества, содержащего ядра, на которые настроена частота резонанса ЯМР. Как правило, это ядра водорода, имеющие высокую распространенность в природе и наибольшее значение гиромагнитного отношения γ . При этом магнитная система и приемно-передающая антенна должны иметь такое взаимное расположение, чтобы магнитное поле B_0 постоянного магнита и магнитное поле B_1 , создаваемое в исследуемой зоне в момент радиочастотного импульса, были взаимно перпендикулярны, и выполнялось так называемое условие резонанса:

$$f_0 = \gamma B_0 / 2\pi. \quad (1)$$

В общем случае, значение величины B_0 в устройствах с постоянными магнитами является функцией расстояния от магнитной системы. Это дает возможность выбирать для резонансной частоты f_0 такое значение, при котором величина B_0 , удовлетворяющая условию (1), будет находиться на достаточном удалении от магнита, так, чтобы сигнал ЯМР формировался только из прискважинной зоны. При этом как ближние, так и дальние области пространства, для которых по условию (1) требуются более высокие или, наоборот, более низкие значения частоты резонанса, вклад в сигнал ЯМР не дают. Таким образом, задавая конфигурацией магнитной системы ту или иную пространственную зависимость B_0 и выбирая соответствующее значение частоты резонанса, можно задавать область исследования на заданном расстоянии от оси устройства, или от внешней стенки его корпуса. Принято этот параметр называть глубиной исследования и он является одной из значимых характеристик устройств для ядерного магнитного каротажа.

В целом, способ ядерного магнитного каротажа в устройствах с постоянными

магнитами заключается в том, что осуществляют перемещение вдоль скважины с заданной скоростью устройства для каротажа, в котором одним или несколькими постоянными магнитами создают постоянное магнитное поле во внешней по отношению к устройству исследуемой области в толще породы, в этой же области радиочастотной 5 10 15 20 25 30 35 40 45
приемо-передающей катушкой на частоте ядерного магнитного резонанса создают серию радиочастотных импульсов, формирующих поляризованное перпендикулярно постоянному магнитному полю переменное магнитное поле, и при помощи этих же катушек в промежутках между радиочастотными импульсами регистрируют сигналы спиновых эхо ЯМР. По зависимости амплитуд сигналов эхо от времени в течение действия последовательности судят о временах или спектрах времен поперечной релаксации (T_2), а по зависимости амплитуд сигналов эхо от периода времени между последовательностями - о временах или спектрах времен продольной (T_1) релаксации. По полученным данным могут быть построены как одномерные (1D), так и двумерные (2D) карты распределения времен релаксации, по которым рассчитывают характеристики подземных формирований.

Из исследованного заявителем уровня техники выявлены изобретения, имеющие особенности в конструкции магнитов по виду пространственного распределения магнитного поля в исследуемой зоне устройства для ядерного магнитного каротажа с постоянными магнитами, которые можно разделить на два, представленных далее, 20
класса.

Так, например, из исследованного заявителем уровня техники выявлено изобретение по патенту USA №4710713 [1], сущность которого состоит в том, что аппаратура ядерного магнитного резонанса содержит, как минимум, один постоянный магнит, предназначенный для того, чтобы генерировать постоянное магнитное поле в удаленной 25 30 35 40 45
области исследования, содержащей исследуемые материалы; указанный, как минимум один, магнит имеет намагниченность, перпендикулярно направленную к продольной оси указанного магнита, и создает радиально неоднородное (градиентное) внешнее магнитное поле, которое представляется убывающей функцией во всей, внешней по отношению к устройству, области пространства, в том числе и в области, предназначенной для исследования. Положительным качеством такой магнитной системы является то, что резонансные условия формируются автоматически, так как в градиентном магнитном поле всегда может быть найдена область пространства, в которой для заданной частоты резонанса выполняется условие (1). В таких устройствах температурная зависимость индукции магнитного поля также не вызывает напрямую проблем, связанных с необходимостью поддерживать резонансные условия во время каротажа. Однако по мере уменьшения значения B_0 с ростом температуры зона исследования смещается в сторону самого устройства для ядерного магнитного каротажа. Другими словами, с ростом температуры в скважине уменьшается параметр глубинности исследования, что, в конечном счете, может привести к неправильной трактовке измеренных данных. Кроме того, в устройствах с такими магнитными системами исследуемая зона представляет собой тонкий слой (толщина слоя порядка 0.1 см), что заметно уменьшает объем исследуемой области. В результате не только уменьшается амплитуда регистрируемого сигнала ЯМР, но и проявляется чувствительность к поперечным колебаниям устройства и вибрации, что может существенно снизить достоверность результатов исследований. Для получения сигнала ЯМР достаточной величины обычно в таких устройствах магнитная система и приемно-передающая антенна имеют большие размеры вдоль оси устройства. В результате,

устройства для ядерного магнитного каротажа с такими магнитными системами имеют плохое, порядка 1 м, пространственное разрешение вдоль ствола скважины, но допускают проведение каротажа со скоростями порядка $100 \div 200$ м/час.

5 Еще одним недостатком магнитных систем, генерирующих градиентное магнитное поле, является необходимость учета в регистрируемом спектре времен релаксации диффузионного вклада, который, в общем случае, неизвестен, так как неизвестны коэффициенты самодиффузии исследуемого флюида в пористой среде породы.

10 Таким образом, устройства ядерного магнитного каротажа, основанные на использовании магнитных систем, формирующих в зоне исследования радиально неоднородное (градиентное) магнитное поле, характеризуются следующими недостатками: зависимость глубинности исследования от температуры; чувствительность устройства к вибрации и поперечным колебаниям; влияние на спектр времен релаксации диффузионного вклада и плохое (порядка 1 м) пространственное разрешение вдоль

15 ствола скважины. Выявленное заявителем из исследованного уровня техники техническое решение по патенту USA №4350955 [2] содержит магнитную систему второго типа, состоящую, как минимум, из двух соосных магнитов, намагниченных вдоль оси и расположенных одноименными полюсами друг к другу, которые генерируют в удаленной тороидальной области пространства относительно однородное (фокусированное) магнитное поле. В

20 этой области функция радиального распределения магнитного поля проходит через максимум, а аксиального распределения – через минимум. Приемо-передающая антенна, выполненная например, в форме соленоида, располагается между магнитами.

Преимуществом этого типа магнитных систем является улучшение качества сигнала ЯМР, как с точки зрения его амплитуды, что достигается за счет увеличения объема

25 исследуемой зоны, так и за счет того, что сигнал регистрируется в отсутствие сильного градиента магнитного поля, способного из-за диффузионного вклада повлиять на спектр времен релаксации. Кроме этого, устройства ядерного магнитного каротажа с таким типом магнитных систем имеют существенно меньшую чувствительность ЯМР сигнала к поперечным колебаниям и вибрации, а также существенное улучшение (до

30 0.1 м и меньше) характеристики пространственного разрешения вдоль ствола скважины. Еще одним преимуществом магнитных систем такого типа является то, что удаленность области исследования от центра магнитной системы задается длиной магнитов и величиной зазора между ними и не зависит от остаточной индукции самих магнитов (см. патент RU №2583881 [3]). Одним из главных недостатков является температурная

35 зависимость индукции магнитного поля в таких устройствах, которая даже при использовании магнитов из материала с малым температурным коэффициентом (SmCb), представляет большую проблему, так как при изменении температуры условие резонанса (1) перестает выполняться одновременно для всей исследуемой зоны. Это первый общий недостаток устройств для ядерного магнитного каротажа с указанным типом магнитных

40 систем.

Второй общий недостаток устройств для ядерного магнитного каротажа с указанным типом магнитных систем состоит в необходимости проводить каротаж с малыми скоростями (не более 30 м/час), так как из-за эффектов движения устройства вдоль оси скважины регистрируемый в течение времени действия импульсной последовательности

45 спектр времен релаксации искажается, причем тем больше, чем больше значения времен релаксации и больше скорость каротажа.

В выявленных заявителем технических решениях по патентам RU №2230345 [4] и RU №2645909 [5] проблема температурной зависимости индукции магнитного поля в

устройствах ядерного магнитного каротажа решается путем компенсации температурных изменений магнитной индукции основных магнитов, генерирующих в удаленной тороидальной области пространства относительно однородное (фокусированное) магнитное поле, в процессе каротажа за счет введения
5 дополнительных элементов конструкции, таких, как дополнительные магниты и/или подмагничивающие катушки.

Так в техническом решении по патенту RU №2230345 [4] для достижения технического результата в устройство введены два дополнительных аксиально намагниченных магнита, которые устанавливаются соосно с внешних сторон основных магнитов так,
10 что полюса основных и дополнительных магнитов направлены встречно. На дополнительные магниты намотаны катушки. При этом положения дополнительных магнитов и катушек фиксированы относительно корпуса устройства, а основные магниты выполнены с возможностью аксиального смещения. Технический результат в патенте RU №2230345 [4] достигается тем, что путем изменения тока в катушках
15 обеспечивается изменение зазора между полюсами основных магнитов, что приводит к изменению значения магнитного поля в области максимума на функции его радиального распределения. В результате соотношение между резонансной частотой и значением поля начинает удовлетворять условию резонанса (1), амплитуда сигнала ЯМР увеличивается и, тем самым, увеличивается скорость набора данных для получения
20 спектра времен релаксации.

К недостаткам технического решения по патенту RU №2230345 [4] относятся сложность его реализации, а также то, что при изменении зазора между магнитами изменяется не только значение магнитного поля на максимуме его радиальной функции
25 распределения, но и радиальное положение этого максимума. Таким образом, применение для компенсации температурной зависимости магнитного поля постоянных магнитов технического решения по патенту RU №2230345 [4] сопровождается уменьшением параметра глубинности исследования, что сказывается на качестве получаемой в результате проведения каротажа информации.

При этом недостаток, связанный с влиянием скорости каротажа на качество проводимых измерений в патенте RU №2230345 [4], также не решается.
30

Принимая во внимание приведенное выше, можно сделать заключение об общности идеи известных способов ядерного магнитного каротажа в устройствах с постоянными магнитами, которая заключается в том, что осуществляют перемещение вдоль скважины с заданной скоростью устройства для каротажа, в котором одним или несколькими
35 постоянными магнитами создают постоянное магнитное поле во внешней по отношению к устройству исследуемой области в толще породы, и в этой области радиочастотной приемно-передающей катушкой на частоте ядерного магнитного резонанса создают серию радиочастотных импульсов, формирующих поляризованное перпендикулярно постоянному магнитному полю переменное магнитное поле, и при помощи этих же
40 катушек в промежутках между радиочастотными импульсами регистрируют сигналы спинового эха ЯМР. По зависимости амплитуд сигналов эха от времени в течение действия последовательности судят о временах или спектрах времен поперечной релаксации (T_2), а по зависимости амплитуд сигналов эха от периода времени между последовательностями - о временах или спектрах времен продольной (T_1) релаксации.
45 По полученным данным могут быть построены как одномерные (1D), так и двумерные (2D) карты распределения времен релаксации, по которым рассчитывают характеристики подземных формирований.

Итак, общим недостатком устройств для ядерного магнитного каротажа с

постоянными магнитами является температурная зависимость индукции магнитного поля. Магниты на основе NdFeB имеют достаточно высокие значения индукции магнитного поля, однако эта величина существенно уменьшается с ростом температуры. Магнитные системы на основе SmCo несколько уступают по величине индукции магнитного поля, но характеризуются более высокой температурной стабильностью. Тем не менее, даже для магнитов, изготовленных на основе улучшенных материалов SmCo с наименьшим температурным коэффициентом, изменение температуры в скважине, например, от +20 °С до +100 °С, приводит к уменьшению величины магнитного поля на 4 и более процентов, что является существенным недостатком. Так, например, в практике применения устройств для лабораторных исследований методом ЯМР допустимое отклонение магнитного поля от заданной величины не превышает обычно 0.01 или даже 0.00001%.

Для устройств ядерного магнитного каротажа с магнитными системами второго типа, генерирующими в удаленной тороидальной области пространства относительно однородное (фокусированное) магнитное поле, еще одним существенным и общим недостатком является ограниченный диапазон скоростей каротажа из-за влияния на спектр регистрируемых времен релаксации эффектов смещения зоны исследования относительно устройства во время его движения.

Наиболее близким по существу поставленной цели заявляемого изобретения, а также по наибольшему количеству совпадающих признаков и назначению, в качестве прототипа заявителем выбрано техническое решение по патенту RU №2645909 [5], «Способ ядерного магнитного каротажа и устройство для его реализации».

Сущность способа заключается в том, что осуществляют перемещение устройства для каротажа вдоль скважины, в котором двумя основными соосными постоянными магнитами, сориентированными одноименными полюсами друг к другу, создают постоянное магнитное поле, поляризованное в перпендикулярном направлении к продольной оси магнитов в удаленной исследуемой области в толще породы, в этой же области радиочастотной приемно-передающей катушкой на частоте ядерного магнитного резонанса создают серию радиочастотных импульсов, формирующих поляризованное перпендикулярно постоянному магнитному полю переменное магнитное поле, и при помощи этих же катушек в промежутках между радиочастотными импульсами регистрируют сигналы спинового эха ЯМР. По зависимости амплитуд сигналов эхо от времени вычисляют спектры времен поперечной и продольной релаксаций и рассчитывают характеристики подземных формирований.

Особенность способа состоит в том, что для исключения влияния на амплитуду сигналов эхо температурной зависимости магнитного поля, создаваемого основными постоянными магнитами, в двух катушках подмагничивания, конструктивно установленных так, что протекающий по ним ток может формировать в удаленной зоне исследования магнитное поле, дополнительное к полю основных магнитов, непосредственно в ходе каротажа изменяют ток так, чтобы значение результирующего магнитного поля в исследуемой зоне сохранялось таким, при котором соблюдаются наилучшие условия получения максимума сигнала ЯМР, и значение глубинности исследования.

Сущность устройства по техническому решению патента RU №2645909 [5], содержащему для формирования в исследуемой области породы постоянного магнитного поля, поляризованного в перпендикулярном направлении к продольной оси, два основных соосных постоянных магнита, сориентированных одноименными полюсами друг к другу, приемно-передающую катушку для возбуждения сигналов

спинового эхо ЯМР и их приема во время действия последовательности радиочастотных импульсов, расположенную в зазоре между магнитами так, чтобы магнитная компонента радиочастотного поля в исследуемой области была перпендикулярна направлению постоянного магнитного поля, электронные блоки, включающие в себя передатчик, приемник, процессор, датчики телеметрии, две катушки подмагничивания, усилитель тока, связанный через цифро-аналоговый преобразователь с процессором, и программатор импульсной последовательности, заключается в том, что с целью исключения влияния на амплитуду сигналов эха температурной зависимости магнитного поля, создаваемого основными постоянными магнитами, без ухудшения характеристики глубинности исследования и упрощения конструкции устройства катушки подмагничивания жестко фиксируют непосредственно на полюсах постоянных магнитов или наматывают на них так, чтобы создаваемые ими магнитные поля в зоне исследования суммировались и были параллельны магнитному полю постоянных магнитов, подключают последовательно или параллельно к усилителю тока, связанному через цифро-аналоговый преобразователь с процессором и регулируют ток, создавая дополнительное магнитное поле, компенсирующее температурное изменение значения магнитного поля основных магнитов без изменения характеристики глубинности исследования.

Таким образом, в целом, в прототипе предложено техническое решение, представляющее собой магнитную систему, которая для генерации в удаленной тороидальной области пространства относительно однородного (фокусированного) магнитного поля содержит два соосных постоянных магнита, намагниченных вдоль оси и расположенных одноименными полюсами друг к другу, а также две подмагничивающих катушки, жестко фиксированные на полюсах постоянных магнитов или намотанные непосредственно на них так, чтобы при пропускании электрического тока через катушки в области исследования формировалось дополнительное магнитное поле, позволяющее компенсировать в процессе каротажа температурные изменения магнитной индукции постоянных магнитов путем регулировки тока в подмагничивающих катушках.

Технический результат в патенте RU №2645909 [5] достигается тем, что в подмагничивающих катушках, подключенных к усилителю тока, вход которого связан с выходом ЦАП, который по командам, поступающим с общей шины процессора, обеспечивает изменение тока в катушках так, чтобы суммарное магнитное поле постоянных магнитов и подмагничивающих катушек в зоне исследования сохранялась постоянным независимо от окружающей температуры. В результате для заданной резонансной частоты сохраняется условие резонанса (1), при котором амплитуда сигнала ЯМР и скорость набора данных для получения спектра времен релаксации максимальны. При этом, в отличие от патента RU №2230345 [4], техническое решение по прототипу RU №2645909 [5] решает данную задачу, сохраняя значение глубинности исследования постоянным.

Общий недостаток технических решений RU №2230345 [4] и прототипа RU №2645909 [5] заключается во влиянии скорости каротажа на регистрируемые спектры времен релаксации и связан с тем, что в течение времени регистрации сигналов ЯМР в импульсной последовательности КПМГ устройство ядерного магнитного каротажа в целом смещается вместе с магнитной системой относительно области пространства породы, в которой первым импульсом в последовательности был возбужден сигнал ЯМР. Так, например, при типичной скорости каротажа 100 м/час за время импульсной последовательности длительностью 1 сек происходит смещение зоны исследования на

3.6 см, что сравнимо с аксиальным размером (до 10 см) этой зоны. При этом на регистрируемый в течение времени действия последовательности радиочастотных импульсов КПМГ спектр времен релаксации влияют два основных фактора, обусловленных движением устройства вдоль ствола скважины:

5 выход части поляризованных и возбужденных ядерных магнитных моментов из зоны чувствительности прибора;

дополнительная расфазировка эхо-сигналов в последовательности КПМГ за счет аксиальной неоднородности магнитного поля в области чувствительности прибора.

Формально, первый фактор может быть учтен, так как его влияние линейно связано со скоростью каротажа. Второй же фактор не поддается простой корректировке, так как распределение напряженности магнитного поля в зоне чувствительности в аксиальном направлении нелинейно. В результате эффект движения устройства вдоль ствола скважины приводит к искажению спектра регистрируемых времен релаксации, так как искажение оказывается тем больше, чем больше времена релаксации и чем
15 больше скорость каротажа. В конечном счете, это приводит к неверной трактовке данных каротажа. Для получения качественных результатов измерений скорость каротажа с использованием устройств ядерного магнитного каротажа с таким типом магнитных систем необходимо ограничивать значением порядка 30-50 м/час. Однако такое ограничение скорости увеличивает общее время исследования, особенно при
20 исследовании больших горизонтов, так, что в ряде случаев само проведение каротажа может стать нерентабельным.

Заявленное техническое решение направлено на устранение указанного недостатка прототипа, как по способу реализации каротажа, так и по устройству, используемому для каротажа в заявленном способе, а в целом, на выполнение эффективных
25 исследований по каротажу в более широком диапазоне скоростей каротажа.

Целью и техническим результатом предлагаемого изобретения является разработка способа ядерного магнитного каротажа и устройства для реализации указанного способа, применение которых должно обеспечивать возможность расширения диапазона скоростей каротажа при сохранении способности регулирования в процессе каротажа значения фокусированного магнитного поля в области исследования для компенсации температурной зависимости остаточной индукции постоянных магнитов без ухудшения характеристики глубинности исследования.

Цель и технический результат достигается тем, что заявлен способ ЯМР каротажа, заключающийся в том, что осуществляют перемещение устройства для каротажа вдоль
35 скважины, двумя размещенными соосно цилиндрическими основными постоянными магнитами, сориентированными одноименными полюсами друг к другу, создающими постоянное магнитное поле, поляризованное в перпендикулярном направлении к продольной оси магнитов в исследуемой области в толще породы, в этой же области путем задания тока в подмагничивающих катушках создают дополнительное магнитное
40 поле, компенсирующее температурную зависимость магнитной индукции постоянных магнитов и в этой же области радиочастотной приемно-передающей катушкой создают переменное магнитное поле, поляризованное перпендикулярно постоянному магнитному полю, при помощи приемных катушек регистрируют сигнал ЯМР, амплитуда которого при прочих равных условиях определяется точностью настройки резонансных условий,
45 в течение времени действия импульсной последовательности КПМГ набирают спектр времен поперечной и продольной релаксаций и рассчитывают характеристики подземных формирований, характеризующийся тем, что для обеспечения возможности компенсации влияния скорости движения устройства ядерного магнитного каротажа вдоль ствола

скважины на регистрируемые спектры времен релаксации и обеспечения возможности расширения диапазона скоростей каротажа при сохранении способности регулирования в процессе каротажа значения фокусированного магнитного поля в области исследования, а также для обеспечения возможности компенсации температурной зависимости остаточной индукции постоянных магнитов без ухудшения характеристики глубинности исследования, непосредственно перед началом действия импульсной последовательности в подмагничивающих катушках задают разницу токов при сохранении суммарного значения, так, чтобы зона исследования, а именно зона, в которой выполняются условия ядерного магнитного резонанса - аксиально сместилась относительно плоскости, проходящей через центр зазора между магнитами перпендикулярно оси магнитов, в сторону движения устройства на величину ΔZ_0 , равную половине произведения заданных значений скорости каротажа V и времени T действия импульсной последовательности КПМГ, далее в течение времени действия импульсной последовательности линейно изменяют значение разницы токов в катушках с такой скоростью, чтобы к концу действия импульсной последовательности зона исследования аксиально сместилась относительно плоскости, проходящей через указанный геометрический центр магнитной системы, в обратную от направления движения устройства сторону на величину $-\Delta Z_0$, синхронно с началом действия следующего цикла импульсной последовательности радиочастотных импульсов последовательность действий по управлению токами в катушках повторяют с периодом, равным установленному периоду следования импульсных последовательностей, при этом начальные и конечные значения тока, а также направление и скорость изменения тока в катушках на участке линейной зависимости определяют, исходя из требования неизменности, в течение всей длительности импульсной последовательности координат исследуемой зоны относительно самой скважины с учетом заданных значений скорости каротажа V и времени действия импульсной последовательности T , а суммарное значение тока в катушках подмагничивания, обеспечивающее компенсацию температурной зависимости магнитной индукции постоянных магнитов, в течение процесса набора данных сохраняют постоянным или изменяют асинхронно по отношению к импульсной последовательности опираясь на данные, например, телеметрии.

Устройство для ядерного магнитного каротажа, содержащее для формирования в исследуемой области породы постоянного магнитного поля, поляризованного в перпендикулярном направлении к продольной оси, два основных соосных постоянных магнита, сориентированных одноименными полюсами друг к другу, приемно-передающую катушку для возбуждения сигналов спинового эхо ЯМР и их приема во время действия последовательности радиочастотных импульсов, расположенную в зазоре между магнитами так, чтобы магнитная компонента радиочастотного поля в исследуемой области была перпендикулярна направлению постоянного магнитного поля, электронные блоки, включающие в себя передатчик, приемник, процессор, датчики телеметрии, две катушки подмагничивания, усилитель тока, связанный через цифро-аналоговый преобразователь с процессором, программатор импульсной последовательности и две подмагничивающие катушки, жестко фиксированные непосредственно на полюсах постоянных магнитов или намотанных непосредственно на них, характеризующееся тем, что с целью обеспечения компенсации влияния скорости движения устройства ядерного магнитного каротажа вдоль ствола скважины на регистрируемые спектры времен релаксации и расширения диапазона скоростей каротажа при сохранении способности регулирования в процессе каротажа значения фокусированного магнитного поля в области исследования для компенсации

температурной зависимости остаточной индукции постоянных магнитов без ухудшения характеристики глубинности исследования дополнительно введен второй управляемый генератор тока, соединенный через второй ЦАП с общей шиной процессора, и подключена одна из подмагничивающих катушек к выходам первого, а вторая – к выходам второго усилителя тока и осуществлено управление токами в подмагничивающих катушках, при этом суммарный ток в катушках обеспечивает компенсацию температурной зависимости магнитной индукции постоянных магнитов, а разностный ток и скорость его изменения во времени обеспечивают аксиальное смещение относительно корпуса устройства области выполнения условий ядерного магнитного резонанса синхронно с действием импульсной последовательности так, чтобы область породы, в которой в начале импульсной последовательности был создан сигнал ЯМР, оставалась постоянной (неподвижной) во время регистрации всей последовательности сигналов эхо, независимо от скорости движения устройства ядерного магнитного каротажа вдоль скважины.

Заявленное изобретение осуществляют, например, следующим путем.

Способ ЯМР каротажа, заключающийся в том, что осуществляют перемещение устройства для каротажа вдоль скважины, двумя размещёнными соосно цилиндрическими основными постоянными магнитами, сориентированными одноименными полюсами друг к другу, создающими постоянное магнитное поле, поляризованное в перпендикулярном направлении к продольной оси магнитов в исследуемой области в толще породы, в этой же области путем задания тока в подмагничивающих катушках создают дополнительное магнитное поле, компенсирующее температурную зависимость магнитной индукции постоянных магнитов и в этой же области радиочастотной приемно-передающей катушкой создают переменное магнитное поле, поляризованное перпендикулярно постоянному магнитному полю, при помощи приемных катушек регистрируют сигнал ЯМР, амплитуда которого при прочих равных условиях определяется точностью настройки резонансных условий, далее набирают спектр времен поперечной и продольной релаксаций и рассчитывают характеристики подземных формирований.

Особенность способа заключается в том, что компенсацию влияния скорости движения устройства ядерного магнитного каротажа вдоль ствола скважины осуществляют путем регулирования синхронно с действием импульсной последовательности разностного тока в катушках подмагничивания, подключенных к двум управляемым усилителям тока, так, что суммарный ток в катушках обеспечивает компенсацию температурной зависимости магнитной индукции постоянных магнитов, а разностный ток в них обеспечивает смещение области выполнения условий ядерного магнитного резонанса синхронно с действием импульсной последовательности так, чтобы область породы, в которой в начале импульсной последовательности был создан сигнал ЯМР, оставалась постоянной и неподвижной во время регистрации всей последовательности сигналов эхо, независимо от скорости движения устройства ядерного магнитного каротажа вдоль скважины. Для этого, непосредственно перед началом действия импульсной последовательности в подмагничивающих катушках задают начальную разницу токов I_0 при сохранении суммарного, или задают его заново, так, чтобы зона исследования – зона, в которой выполняются условия ядерного магнитного резонанса - аксиально сместилась относительно плоскости, проходящей через центр зазора между магнитами перпендикулярно оси магнитов, в сторону движения устройства на величину ΔZ_0 , равную половине произведения заданных значений скорости каротажа V и времени T действия импульсной последовательности КПМГ,

затем в течение времени действия импульсной последовательности линейно изменяют значение разницы токов в катушках так, чтобы к концу действия импульсной последовательности зона исследования аксиально сместилась относительно плоскости, проходящей через указанный геометрический центр магнитной системы, в обратную от направления движения устройства сторону на величину $-\Delta Z_0$, синхронно с началом действия следующего цикла импульсной последовательности радиочастотных импульсов, последовательность действий по управлению токами в катушках повторяют с периодом, равным установленному периоду следования импульсных последовательностей, при этом, начальные и конечные значения тока, а также направление и скорость изменения тока в катушках на участке линейной зависимости определяют исходя из требования неизменности в течение всей длительности импульсной последовательности координат исследуемой зоны относительно самой скважины с учетом заданных значений скорости каротажа V и времени действия импульсной последовательности T , а суммарное значение тока в катушках подмагничивания, обеспечивающее компенсацию температурной зависимости магнитной индукции постоянных магнитов, в течение процесса набора данных сохраняют постоянным. Начальное значение ΔI_0 разницы токов в катушках подмагничивания предварительно вычисляют по соотношению:

$$2\Delta I_0 = K * T * V, \quad (2)$$

где размерный коэффициент K является индивидуальной характеристикой практической реализации устройства, зависит от параметров (размеры, форма, количество витков) подмагничивающих катушек, а также от начальной магнитной индукции постоянных магнитов, их длины и зазора между ними.

На практике коэффициент K предварительно определяется из измеренной для конкретной реализации устройства зависимости ΔZ от ΔI , аппроксимируемой выражением:

$$\Delta Z = K * \Delta I. \quad (3)$$

Сущность заявленного изобретения поясняется Фиг. 1 - Фиг. 3.

На Фиг. 1 представлен чертеж общего вида;

На Фиг. 2 представлена блок-схема устройства и реализации способа;

На Фиг. 3 приведена временная диаграмма следования импульсных последовательностей и синхронизированные с ней функции времени для разностного тока в подмагничивающих катушках, а также для суммарного тока, предназначенного для компенсации температурной зависимости магнитной индукции постоянных магнитов.

Устройство для ЯМР каротажа состоит из следующих основных структурных элементов (Фиг. 1): 1- корпус; 2 - первый постоянный магнит; 3 - второй постоянный магнит; 4 - приемно-передающая катушка; 5 - блок электроники; 6- первая подмагничивающая катушка; 7 – вторая подмагничивающая катушка. Цифрой 8 – обозначена схематически показанная тороидальная область исследования, в которой за счет магнитов 2 и 3 формируются условия резонанса (1). Исходно, эта область лежит на плоскости 9, проходящей через центр зазора между постоянными магнитами перпендикулярно оси магнитов или устройства в целом. При введении в подмагничивающие катушки разницы токов ΔI_0 или $-\Delta I_0$ зона исследования смещается на величину ΔZ_0 (обозначено цифрой 8а) или $-\Delta Z_0$ (обозначено цифрой 8б).

Блок-схема (Фиг. 2) реализации способа и устройства для ЯМР каротажа содержит: 10 - передатчик; 11 – программатор импульсов; 12 - процессор; 13 - синтезатор частот; 14 - предусилитель; 15 - приемник; 16 - квадратурный АЦП; 17 - модем связи; 18 - блок питания; 19 - геофизический кабель; 20 - наземный модуль; 21 - датчики телеметрии; 22 – первый управляемый усилитель тока; 23 – первый ЦАП; 24 – второй управляемый

усилитель тока; 25 – второй ЦАП.

Таким образом, заявляемое устройство для ядерного магнитного каротажа состоит из корпуса 1, двух аксиально намагниченных встречных постоянных магнитов 2 и 3, расположенной в зазоре между магнитами приемно-передающей катушки 4, электронного блока 5, включающего в себя блок питания 18, модем связи 17 с наземным модулем 20 посредством геофизического кабеля 19, процессора 12, на один вход которого (вход а) поступают цифровые данные с выхода квадратурного АЦП 16, а второй двунаправленный вход (вход б) соединен через шину данных с модемом связи 17, с датчиками телеметрии 21 и с одним из входов (двунаправленный вход а) программатора 11, второй вход (вход б) которого соединен с выходом синтезатора 13, а выходы соединены (выход г) с передатчиком 10 и (выход в) с управляющими входами квадратурного АЦП 16, приемника 15 и предусилителя 14, на вход (вход а) которого с приемно-передающей катушки 4 поступают сигналы ЯМР, полученные в результате генерации приемно-передающей катушкой 4 во время работы передатчика 10 переменного магнитного поля, направление которого в исследуемой среде ортогонально направлению магнитного поля постоянных магнитов 2 и 3, а также двух катушек подмагничивания 6 и 7.

Особенностью заявленного устройства является то, что две катушки подмагничивания 6 и 7 подключены независимо к выходам усилителя тока 22 и дополнительно введенного усилителя тока 24, соединенных с общей шиной (на Фиг.2 выделено жирным) процессора 12 через соответствующие ЦАП 23 и дополнительно введенного ЦАП 25, что обеспечивает возможность независимого управления значениями тока в каждой из подмагничивающих катушек по командам, поступающим с общей шины процессора 12, которые могут быть синхронизированы с работой программатора импульсов 11, например, по линии связи процессора 12 с квадратурным АЦП.

При задании значений токов в подмагничивающих катушках разными, зона исследования, в которой соблюдается условие резонанса (1), аксиально смещается в соответствии с (2) и (3) относительно перпендикулярной к оси устройства плоскости 9, проходящей через центр зазора между постоянными магнитами. Другими словами, путем задания разницы значений токов в подмагничивающих катушках достигается эффект аксиального смещения зоны исследования относительно магнитной системы и, следовательно, относительно всего корпуса устройства ядерного магнитного каротажа.

Устройство работает следующим образом. Все частоты, используемые для задания основной резонансной частоты f_0 , а также для формирования частот выборки амплитудно-цифрового преобразователя, частот дискретизации временных интервалов в импульсной последовательности и длительности радиочастотных импульсов, вырабатываются из одной частоты, формируемой с высокой температурной стабильностью в синтезаторе частот 13. Таким образом, все частоты и временные интервалы прибора когерентны, что позволяет при соответствующем выборе частоты f_d дискретизации квадратурного АЦП 16 по отношению к значению f_0 (например, $f_d=4f_0$) осуществлять цифровой принцип квадратурного детектирования сигнала ЯМР. Программатор 11 формирует в соответствии с заданной программой заданное количество радиочастотных импульсов необходимой длительности для активации работы передатчика 10, а также все интервалы между радиочастотными импульсами, включая и интервалы времени для измерения сигналов эхо. На время измерения сигналов эха программатором вырабатываются управляющие импульсы для перевода в активный

режим предусилителя 14 и приемника 15, а также формируются импульсы синхронизации работы АЦП 16 на частоте дискретизации f_d . Измеренные данные с АЦП в цифровом виде поступают на вход процессора 12, в котором осуществляется их предварительная обработка, включающая, например, цифровую фильтрацию, Фурье-преобразование и т.д., а также подготовка (кодирование) для передачи данных через модем связи 17 по геофизическому кабелю 19 в наземный модуль 20.

В наземном модуле поступившие данные анализируются и записываются, в то время как устройство для ядерного магнитного каротажа, двигаясь с заданной скоростью V вдоль ствола скважины через определенный заданный промежуток времени между импульсными последовательностями вырабатывает и подготавливает к передаче в наземный модуль следующую порцию данных. Все параметры импульсной последовательности, включая длительность самой последовательности или количество измеряемых сигналов эха, интервалы между радиочастотными импульсами, интервалы между самими импульсными последовательностями, а также программа или алгоритмы предварительной обработки данных поступают в процессор 12 и далее в программатор 11, а также в синтезатор частот 13.

В управляемых усилителях тока 22 и 24 начальное суммарное значение тока в подмагничивающих катушках 6 и 7 может быть задано равным нулю, если устройство перед каротажом было соответствующим образом подготовлено. То есть, частота резонанса f_0 была установлена в соответствии с условием резонанса (1) для магнитного поля B_0 , генерируемого в области исследования только за счет постоянных магнитов 2 и 3. В скважинах температура может сильно отличаться от нормальной, как в правило, в сторону положительных значений, что будет приводить, соответственно, к уменьшению значения B_0 . С датчиков телеметрии 21, включающих, как правило, и датчики температуры магнитов, информация об изменении температуры магнитов поступает в процессор 12, где она может обрабатываться по соответствующему алгоритму, учитывающему температурную зависимость остаточной индукции постоянных магнитов, и поступать в виде команды на изменение в подмагничивающих катушках значения суммарного тока в управляемые усилители тока 22 и 24 через ЦАП 23 и ЦАП 25, соответственно. При одинаковых эффективностях катушек 6 и 7 значения токов по модулю в обеих катушках задаются одинаковыми, а их знаки определяются только полярностью подключения выводов катушек к выходам усилителя тока, так чтобы каждая из катушек создавала в удаленной зоне исследования одинаковое по знаку и величине дополнительное магнитное поле, в сумме компенсирующее температурный уход магнитной индукции постоянных магнитов. Заданное таким образом суммарное значение токов в катушках 6 и 7 формирует в зоне исследования суммарное дополнительное магнитное поле, компенсирующее температурный уход значения B_0 постоянных магнитов, и может быть изменено только при поступлении соответствующей команды с процессора 12 на основании обработки данных телеметрии или непосредственно по команде оператора. Таким образом, команды на изменение суммарного тока в катушках 6 и 7 поступают асинхронно по отношению к работе программатора импульсов 11, формирующего с заданным периодом заданную длительность импульсной последовательности радиочастотных импульсов и импульсов активации квадратурного АЦП 16. При одинаковых токах в подмагничивающих катушках 6 и 7 значения создаваемых ими дополнительных полей имеют только радиальное распределение, но одинаковы в плоскости 9, лежащей перпендикулярно к оси устройства и проходящей через геометрический центр зазора между катушками. В

этом случае создаваемое катушками 6 и 7 дополнительное магнитное поле не изменяет аксиальное положение зоны исследования 8 (Фиг. 1) относительно плоскости 9, проходящей через центр зазора между постоянными магнитами 2 и 3.

При задании значений токов в катушках 6 и 7 разными, зона исследования, в которой
5 соблюдается условие резонанса (1), аксиально смещается в ту или иную сторону относительно перпендикулярной к оси устройства исходной плоскости 9, проходящей через центр зазора между постоянными магнитами 2 и 3. Другими словами, путем задания разницы значений токов в катушках 6 и 7 достигается эффект аксиального смещения зоны исследования 8 относительно магнитной системы и, следовательно,
10 всего корпуса устройства ядерного магнитного каротажа.

Для достижения заявляемого технического результата, а именно, исключения влияния эффектов движения устройства относительно исследуемых зон породы на спектры регистрируемых времен релаксации и расширения, тем самым, диапазона скоростей каротажа осуществляют следующие шаги. Перед началом импульсной
15 последовательности по команде с процессора 12 в катушках 6 и 7 задается рассчитанная по (2) и (3) разница ΔI_0 токов такой, чтобы зона исследования 8, в которой магнитное поле соответствует условию (1), оказалась смещена относительно плоскости 9 на расчетную величину ΔZ_0 (как показано на Фиг. 1, 8а), равную половине произведения заданного значения скорости V каротажа и заданной длительности T импульсной
20 последовательности. Причем, смещение должно быть осуществлено, как показано на Фиг.1, в сторону направления движения со скоростью V всего устройства ядерного магнитного каротажа. Так если, например, устройство для каротажа движется вдоль скважины вверх и катушка 6 расположена выше катушки 7, то начальная разница токов ΔI_0 определяется как $\Delta I_0 = I_{20} - I_{10}$, где I_{10} – начальный ток в катушке 6, а I_{20} - в катушке
25 7. Затем синхронно с началом действия импульсной последовательности командами от общей шины процессора изменяют (см. Фиг. 2 Б) значение разницы токов ΔI по линейной функции времени с такой скоростью, чтобы к концу импульсной последовательности с заданной длительностью T значение разницы токов стало равным $-\Delta I_0$. В результате зона исследования 8 к этому моменту времени аксиально сместится
30 относительно плоскости 9, проходящей через геометрический центр зазора между постоянными магнитами, на величину $-\Delta Z_0$ (см. Фиг. 1, 8б), что будет соответствовать смещению зоны в обратную сторону по отношению к направлению движения устройства. Далее, в период времени между импульсными последовательностями вновь устанавливаются начальное значение разницы токов ΔI_0 , при котором зона исследования
35 8, в которой магнитное поле соответствует условию (1), оказывается смещенной относительно плоскости 9 на расчетную величину ΔZ_0 , равную половине произведения заданного значения скорости V каротажа и заданной длительности T импульсной последовательности, и далее все процедуру управления токами в подмагничивающих катушках повторяют в соответствии с заданным периодом следования импульсных
40 последовательностей.

Таким образом, в течение действия импульсной последовательности зона исследования 8, от которой регистрируется сигнал ЯМР, со скоростью, равной скорости V каротажа, аксиально смещается относительно плоскости 9 и, следовательно,
относительно корпуса устройства 1, в обратном, по отношению к направлению движения
45 устройства, направлении, но остается неподвижной относительно исследуемой породы ствола скважины и, следовательно, все эффекты, связанные с движением устройства каротажа во время измерения и набора данных, исключаются.

При изменении скорости каротажа или изменении длительности импульсной

последовательности в процессор 12 вводятся новые данные относительно необходимой начальной разницы токов ΔI_0 в подмагничивающих катушках и скорости изменения этой величины во время действия импульсной последовательности. Например, для увеличенной скорости каротажа при неизменной длительности многоимпульсной последовательности T зависимость $\Delta I(t)$ будет иметь вид, показанный на Фиг. 2 Б жирной пунктирной линией.

В результате реализации заявленного технического решения исключение влияния скорости движения устройства на регистрируемые спектры времен релаксации и, следовательно, расширение диапазона скоростей каротажа обеспечивается путем синхронного с действием импульсных последовательностей изменения аксиального положения зоны исследования относительно плоскости, проходящей через геометрический центр основных магнитов или, что то же самое, относительно корпуса устройства в целом так, чтобы в течение действия импульсной последовательности и набора данных зона исследования была неподвижной относительно ствола скважины. Технический результат достигается заданием для изменения токов в подмагничивающих катушках соответствующих функций времени как показано на Фиг. 3. Б, синхронизированных с началом, длительностью и периодом действия импульсных последовательностей (Фиг. 3. А). При этом суммарное значение токов в подмагничивающих катушках, либо исходно устанавливается на уровне, требуемом для компенсации температурной зависимости магнитной индукции основных постоянных магнитов и изменяется только по соответствующим командам в промежутках между импульсными последовательностями, как показано на Фиг. 3 В жирной штрих-пунктирной линией, на основании данных телеметрии или команд оператора, либо может обнуляться на время между импульсными последовательностями так, как показано на Фиг. 3 В, поскольку в этих промежутках времени нет необходимости выполнять условия резонанса (1). Такой вариант является предпочтительным, так как он способствует в среднем уменьшению потребляемой энергии устройством.

Применение заявляемого способа ядерного магнитного каротажа и устройства его реализации решает проблему влияния эффектов перемещения устройства относительно исследуемой области пространства, что способствует улучшению качества получаемых характеристик о фильтрационно-емкостных свойствах исследуемых пород и свойствах, насыщающих их флюидов.

Заявленное техническое решение удовлетворяет критерию «новизна», предъявляемому к изобретениям, так как при определении уровня техники не обнаружено средство, которому присущи признаки, идентичные (то есть совпадающие по исполняемой ими функции и форме выполнения этих признаков) всем признакам, перечисленным в формуле изобретения, включая характеристику назначения.

Заявленное техническое решение удовлетворяет критерию «изобретательский уровень», поскольку заявителем не выявлены технические решения, имеющие признаки, совпадающие с отличительными признаками данного изобретения, и не установлена известность влияния отличительных признаков на указанный технический результат. Кроме указанного, заявленное техническое решение характеризуется простотой и оригинальностью достижения технического результата в разрешении казалось бы нерешаемой проблемы, обусловленной влиянием скорости каротажа на регистрируемые спектры времен релаксации из-за эффектов смещения зоны исследования, в которой возбуждается первоначально сигнал ЯМР, относительно корпуса прибора в течение времени действия импульсной последовательности по набору данных. Заявленное техническое решение обеспечивает исключение эффекта движения устройства вдоль

ствола скважины во время каротажа на достигаемые в результате исследований регистрируемые данные. Это позволяет значительно расширить диапазон скоростей каротажа для устройств ядерного магнитного каротажа с магнитными системами, составленными из аксиально намагниченных магнитов, сориентированных
 5 одноименными полюсами друг к другу, и тем самым обеспечивает расширение области применения таких устройств, имеющих преимущества по качеству сигнала ЯМР перед устройствами с магнитами, генерирующими градиентное магнитное поле. Таким образом, по мнению заявителя, решение указанных задач посредством применения заявленной совокупности признаков, приведенных в формуле, является не очевидным
 10 для специалиста.

Заявленное техническое решение реализовано в промышленном производстве посредством изготовления опытного образца, устройства для ядерного магнитного каротажа в полевых условиях на предприятии реального сектора экономики Республики Татарстан, ООО ТНГ–Групп, в процессе выполнения НИР «Создание комплекса
 15 технических средств и программных продуктов для эффективной разработки залежей нефти в сложнопостроенных карбонатных коллекторах с использованием горизонтальных скважин и гидроразрыва пласта», в рамках договора с Минобрнауки РФ 02.G25.31.0131 от 01.12. 2015 г. Испытания опытного образца показали, что в результате применения заявленного технического решения верхняя граница диапазона
 20 скоростей каротажа может быть увеличена до 100-120 м/час даже для прибора с уникально высоким (менее 3 см) пространственным разрешением вдоль ствола скважины. В то же время, если опцию по исключению влияния скорости каротажа на регистрируемые спектры отключить, то аналогичное качество регистрируемых спектров времен релаксации достигается на этом же приборе только при снижении скорости
 25 каротажа, как минимум, до 30 м/час. Указанное является доказательством соответствия критерию «промышленная применимость», предъявляемому к изобретениям.

ИСТОЧНИКИ ИНФОРМАЦИИ

1. Патент US № 4710713 США, МПК G01R 33/20. NUCLEAR MAGNETIC RESONANCE SENSING APPARATUS AND TECHNIQUES/ Zvi Taicher, Shmuel Strikman; заявитель и
 30 патентообладатель Numar Corporation, Malvern, Pa.; Zvi Taicher. – 838 503; заявл. 11.03.1986; опубл. 1.12.1987.

2. Патент US № 4350955 США, МПК G01N 27/00. MAGNETIC RESONANCE APPARATUS / Jasper A. Jacksont, Richard K. Cooper; заявитель и патентообладатель The United States of America as represented by the United States Department of Energy, Washington,
 35 DC. – 195 968; заявл. 10.10.1980; опубл. 21.09.1982.

3. Патент RU № 2583881.

4. Патент RU № 2230345.

5. Патент RU №2645909.

40 (57) Формула изобретения

1. Способ ЯМР-каротажа, заключающийся в том, что осуществляют перемещение устройства для каротажа вдоль скважины, двумя размещенными соосно
 цилиндрическими основными постоянными магнитами, сориентированными
 одноименными полюсами друг к другу, создающими постоянное магнитное поле,
 45 поляризованное в перпендикулярном направлении к продольной оси магнитов в исследуемой области в толще породы, в этой же области путем задания тока в подмагничивающих катушках создают дополнительное магнитное поле, компенсирующее температурную зависимость магнитной индукции постоянных

магнитов и в этой же области радиочастотной приемно-передающей катушкой создают переменное магнитное поле, поляризованное перпендикулярно постоянному магнитному полю, при помощи приемных катушек регистрируют сигнал ЯМР, амплитуда которого при прочих равных условиях определяется точностью настройки резонансных условий, в течение времени действия импульсной последовательности КПМГ набирают спектр времен поперечной и продольной релаксаций и рассчитывают характеристики подземных формирований, отличающийся тем, что для обеспечения возможности компенсации влияния скорости движения устройства ядерного магнитного каротажа вдоль ствола скважины на регистрируемые спектры времен релаксации и обеспечения возможности расширения диапазона скоростей каротажа при сохранении способности регулирования в процессе каротажа значения фокусированного магнитного поля в области исследования, а также для обеспечения возможности компенсации температурной зависимости остаточной индукции постоянных магнитов без ухудшения характеристики глубинности исследования, непосредственно перед началом действия импульсной последовательности в подмагничивающих катушках задают разницу токов при сохранении суммарного значения, так чтобы зона исследования, а именно зона, в которой выполняются условия ядерного магнитного резонанса, аксиально сместилась относительно плоскости, проходящей через центр зазора между магнитами перпендикулярно оси магнитов, в сторону движения устройства на величину ΔZ_0 , равную половине произведения заданных значений скорости каротажа V и времени T действия импульсной последовательности КПМГ, далее в течение времени действия импульсной последовательности линейно изменяют значение разницы токов в катушках с такой скоростью, чтобы к концу действия импульсной последовательности зона исследования аксиально сместилась относительно плоскости, проходящей через указанный геометрический центр магнитной системы, в обратную от направления движения устройства сторону на величину $-\Delta Z_0$, синхронно с началом действия следующего цикла импульсной последовательности радиочастотных импульсов последовательность действий по управлению токами в катушках повторяют с периодом, равным установленному периоду следования импульсных последовательностей, при этом начальные и конечные значения тока, а также направление и скорость изменения тока в катушках на участке линейной зависимости определяют, исходя из требования неизменности, в течение всей длительности импульсной последовательности координат исследуемой зоны относительно самой скважины с учетом заданных значений скорости каротажа V и времени действия импульсной последовательности T , а суммарное значение тока в катушках подмагничивания, обеспечивающее компенсацию температурной зависимости магнитной индукции постоянных магнитов, в течение процесса набора данных сохраняют постоянным или изменяют асинхронно по отношению к импульсной последовательности, опираясь на данные, например, телеметрии.

2. Устройство для ядерного магнитного каротажа, содержащее для формирования в исследуемой области породы постоянного магнитного поля, поляризованного в перпендикулярном направлении к продольной оси, два основных соосных постоянных магнита, сориентированных одноименными полюсами друг к другу, приемно-передающую катушку для возбуждения сигналов спинового эхо ЯМР и их приема во время действия последовательности радиочастотных импульсов, расположенную в зазоре между магнитами так, чтобы магнитная компонента радиочастотного поля в исследуемой области была перпендикулярна направлению постоянного магнитного поля, электронные блоки, включающие в себя передатчик, приемник, процессор, датчики телеметрии, две катушки подмагничивания, усилитель тока, связанный через

цифроаналоговый преобразователь с процессором, программатор импульсной последовательности и две подмагничивающие катушки, жестко фиксированные непосредственно на полюсах постоянных магнитов или намотанных непосредственно на них, отличающееся тем, что с целью обеспечения компенсации влияния скорости движения устройства ядерного магнитного каротажа вдоль ствола скважины на регистрируемые спектры времен релаксации и расширения диапазона скоростей каротажа при сохранении способности регулирования в процессе каротажа значения фокусированного магнитного поля в области исследования для компенсации температурной зависимости остаточной индукции постоянных магнитов без ухудшения характеристики глубинности исследования дополнительно введен второй управляемый генератор тока, соединенный через второй ЦАП с общей шиной процессора, и подключена одна из подмагничивающих катушек к выходам первого, а вторая – к выходам второго усилителя тока и осуществлено управление токами в подмагничивающих катушках, при этом суммарный ток в катушках обеспечивает компенсацию температурной зависимости магнитной индукции постоянных магнитов, а разностный ток и скорость его изменения во времени обеспечивают аксиальное смещение относительно корпуса устройства области выполнения условий ядерного магнитного резонанса синхронно с действием импульсной последовательности так, чтобы область породы, в которой в начале импульсной последовательности был создан сигнал ЯМР, оставалась постоянной (неподвижной) во время регистрации всей последовательности сигналов эхо независимо от скорости движения устройства ядерного магнитного каротажа вдоль скважины.

25

30

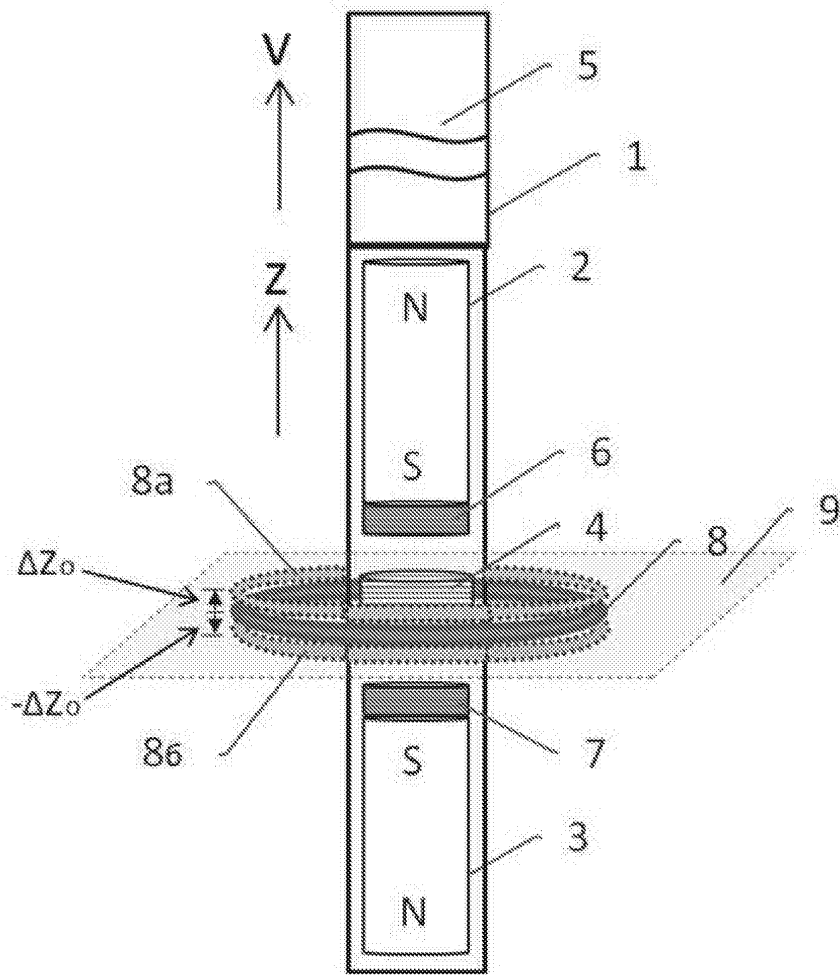
35

40

45

1

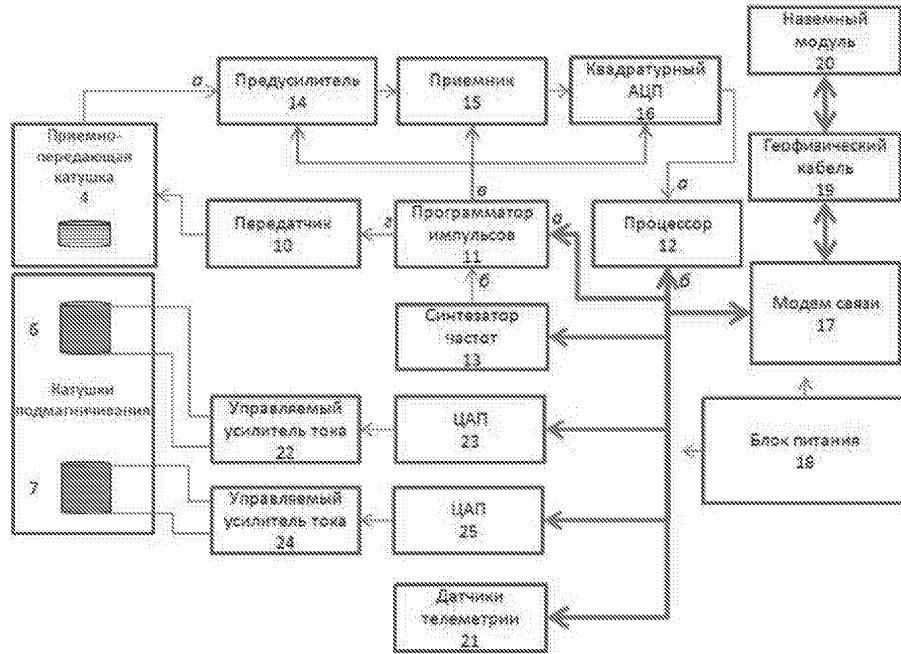
Способ ядерного магнитного каротажа и устройство для его реализации



Фиг. 1

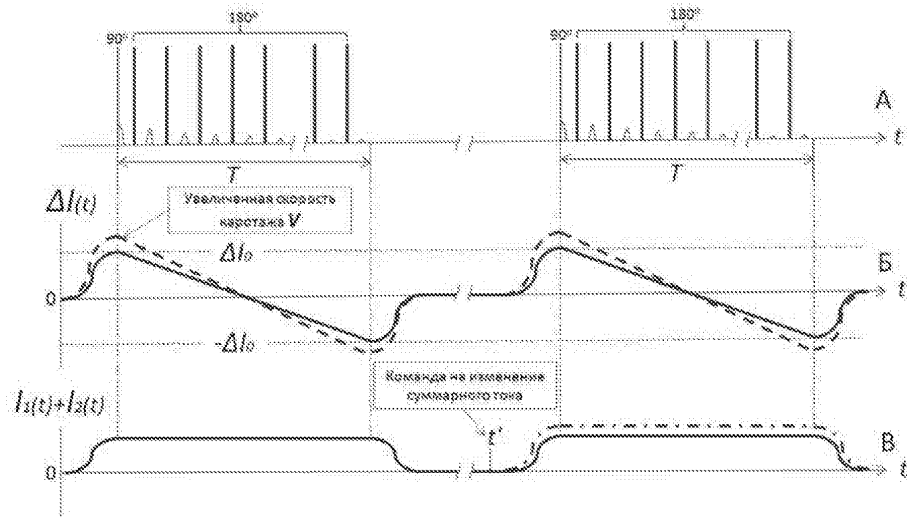
2

Способ ядерного магнитного картожа и устройство для его реализации



Фиг. 2

Способ ядерного магнитного каротажа и устройство для его реализации



Фиг. 3