



(51) МПК  
*E21B 47/0228* (2012.01)  
*G01V 3/20* (2006.01)  
*G01V 3/26* (2006.01)

**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(52) СПК

*E21B 47/02216* (2018.02); *E21B 47/02224* (2018.02); *G01V 3/20* (2018.02); *G01V 3/26* (2018.02)

(21)(22) Заявка: 2017127015, 25.03.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
25.03.2015

Дата регистрации:  
19.09.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.03.2015

(45) Опубликовано: 19.09.2018 Бюл. № 26

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на  
национальной фазе: 27.07.2017

(86) Заявка РСТ:  
US 2015/022536 (25.03.2015)

(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2016/153507 (29.09.2016)

Адрес для переписки:  
197101, Санкт-Петербург, а/я 128, "АРС-  
ПАТЕНТ" М.В. Хмара

(72) Автор(ы):

**АХМАДИ КАЛАТЕХ АХМАД** Акрам  
(US),  
У Хсу-ксиан (US)

(73) Патентообладатель(и):

**ХАЛЛИБЕРТОН ЭНЕРДЖИ СЕРВИСЕЗ,  
ИНК.** (US)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: US 4372398 А, 08.02.1983. US  
4409551 А, 11.10.1983. US 5041792 А,  
20.08.1991. RU 2386810 С2, 20.04.2010. US  
5343152 А, 30.08.1994. US 5218301 А,  
08.07.1993. US 4791373 А, 13.12.1988.

**(54) СПОСОБЫ И СИСТЕМЫ ДАЛЬНОМЕТРИИ НА ОСНОВЕ ПОВЕРХНОСТНОГО  
 ВОЗБУЖДЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАСТРАИВАЕМОГО ЗАЗЕМЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА**

(57) Реферат:

Изобретение относится бурению скважин и может быть использовано для определения расстояния и направления между сближенными скважинами. Техническим результатом является расширение арсенала технических средств для определения расстояния между скважинами. В частности предложен способ дальнометрии на основе поверхностного возбуждения, включающий: установку настраиваемого заземляющего устройства для источника электропитания, расположенного на поверхности земли, причем настраиваемое заземляющее устройство удовлетворяет критериям сопротивления или критериям эффективности

дальнометрии; подачу электрического тока, выходящего из источника электропитания, вдоль целевой скважины, содержащей металлическую обсадную колонну; измерение электромагнитных (ЭМ) полей, распространяемых из целевой скважины в результате протекания электрического тока; и использование информации о расстоянии или направлении, полученной из измеренных ЭМ-полей, для управления направлением бурения новой скважины относительно целевой скважины. Раскрыта также система для реализации указанного способа. 2 н. и 18 з.п. ф-лы, 9 ил.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*E21B 47/0228* (2012.01)  
*G01V 3/20* (2006.01)  
*G01V 3/26* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*E21B 47/02216* (2018.02); *E21B 47/02224* (2018.02); *G01V 3/20* (2018.02); *G01V 3/26* (2018.02)

(21)(22) Application: **2017127015, 25.03.2015**

(24) Effective date for property rights:  
**25.03.2015**

Registration date:  
**19.09.2018**

Priority:

(22) Date of filing: **25.03.2015**

(45) Date of publication: **19.09.2018** Bull. № 26

(85) Commencement of national phase: **27.07.2017**

(86) PCT application:  
**US 2015/022536 (25.03.2015)**

(87) PCT publication:  
**WO 2016/153507 (29.09.2016)**

Mail address:  
**197101, Sankt-Peterburg, a/ya 128, "ARS-PATENT" M.V. Khmara**

(72) Inventor(s):

**AKHMADI KALATEKH AKHMAD Akram (US),  
U Khsu-khsian (US)**

(73) Proprietor(s):

**HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC. (US)**

(54) **RANGING METHODS AND SYSTEMS BASED ON SURFACE EXCITATION USING ADJUSTABLE GROUNDING DEVICE**

(57) Abstract:

FIELD: drilling of soil or rock.

SUBSTANCE: invention relates to drilling wells and can be used to determine the distance and direction between adjacent wells. In particular, a method for ranging based on surface excitation is proposed, comprising: installing configurable grounding device for a power supply located on the ground surface, with a configurable grounding device meeting resistance criteria or ranging-ranging criteria; supplying an electric current exiting the power supply along a target well containing a metal casing; Measurement of

electromagnetic (EM) fields propagated from the target well as a result of electric current flow; and using the distance or direction information from the measured EM fields to control the direction of drilling a new well relative to the target well. System for implementing this method is also disclosed.

EFFECT: technical result is expanded arsenal of technical means for determining the distance between the wells.

20 cl, 9 dwg

C 1  
4  
6  
7  
3  
9  
4  
R U

R U  
2  
6  
6  
7  
3  
9  
4  
C 1

## УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

В значительной степени удовлетворение множества потребностей человечества в энергии зависит от углеводородов. По этой причине операторы нефтяных месторождений стремятся к максимальной эффективности при добыче и продаже углеводородов. Значительная часть легкодоступной нефти уже извлечена, поэтому разрабатываются новые технологии для извлечения менее доступных углеводородов. Одной из таких технологий является гравитационное дренирование при закачке пара («ГДЗП»), как описано в патенте США № 6257334, озаглавленном «Steam-Assisted Gravity Drainage Heavy Oil Recovery Process». При ГДЗП используется две горизонтальные скважины, расположенные в вертикальной плоскости на расстоянии менее 10 метров друг от друга.

В процессе работы верхняя скважина используется для подачи пара в пласт. Пар нагревает тяжелую нефть, тем самым повышая ее подвижность. Нагретая нефть (и конденсированный пар) стекает в нижнюю скважину и течет на поверхность. Для того чтобы нижняя скважина полностью погружалась во флюид, тем самым «захватывая» пар в пласте, используется метод дросселирования. Если уровень флюида падает слишком низко, пар течет непосредственно из верхней скважины в нижнюю скважину, снижая эффективность нагрева и препятствуя добыче тяжелой нефти. Такой прямой поток (называемый «коротким замыканием») значительно снижает градиент давления, вытесняющего флюид в нижнюю скважину.

Влияние короткого замыкания может быть уменьшено посредством тщательного сохранения расстояния между скважинами, т.е. посредством создания как можно более параллельных скважин. (В точках, в которых расстояние между скважинами меньше среднего, обеспечивается более низкое сопротивление потокам короткого замыкания). При отсутствии технологий точного бурения для уменьшения влияния изменений расстояния между скважинами бурильщикам нужно использовать большие расстояния между скважинами, чем потребовалось бы в противном случае. Точное размещение соседних скважин также важно в других применениях, таких как: предотвращение пересечения скважин, уплотняющее бурение, размещение наблюдательной скважины, дегазация метана угольных пластов и пересечение стволов скважины для предотвращения фонтанирования скважин.

Разработаны электромагнитные (ЭМ) решения для непосредственного обнаружения и измерения расстояния между трубами, расположенными в близлежащих скважинах, когда бурение начинают в последней скважине. Некоторые способы многоскважинной ЭМ дальнометрии не являются экономически эффективными, так как для их реализации требуется несколько бригад для установки в существующей скважине одного или более проводных инструментов, в то время как в новой буровой скважине выполняют каротаж во время бурения (КВБ). При этом, типовой способ односкважинной ЭМ дальнометрии (патент США № 7812610) основан на измерениях абсолютного магнитного поля для расчета расстояния, что не дает надежных результатов из-за изменений тока в целевой трубе.

В другом способе ЭМ дальнометрии, называемом в данной заявке дальнометрия на основе поверхностного возбуждения, используют источник тока, расположенный на поверхности земли и целевую скважину. В частности, ток от источника тока подается на металлическую обсадную колонну целевой скважины, что вызывает излучение ЭМ полей целевой скважиной по всей ее длине. ЭМ поля, излучаемые из целевой скважины, могут использоваться для управления направлением бурения новой скважины вблизи целевой скважины. Из-за утечки тока из целевой скважины в окружающий пласт при

дальнометрии на основе поверхностного возбуждения могут создаваться слабые электромагнитные поля, при этом отношение сигнал/шум (ОСШ) для датчиков в глубоких скважинах может быть низким. Увеличение силы тока, подаваемого в целевую скважину, могло бы увеличить напряженность электромагнитного поля и ОСШ до значений, требуемых для дальнометрии, но такое увеличение тока не всегда возможно для данного источника электропитания и может представлять угрозу для безопасности персонала, находящегося на поверхности земли.

#### КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Таким образом, в данной заявке описаны способы и системы дальнометрии на основе поверхностного возбуждения с использованием настраиваемого заземляющего устройства.

На Фиг. 1 проиллюстрирована упрощенная схема иллюстративного сценария дальнометрии на основе поверхностного возбуждения с использованием настраиваемого заземляющего устройства.

На Фиг. 2А проиллюстрирована упрощенная схема, на которой проиллюстрирована часть сценария дальнометрии на основе поверхностного возбуждения, включающего первое настраиваемое заземляющее устройство.

На Фиг. 2В проиллюстрирована диаграмма, на которой представлено распределение тока под землей, связанное с первым настраиваемым заземляющим устройством на Фиг. 2А.

На Фиг. 3А проиллюстрирована упрощенная схема, на которой проиллюстрирована часть сценария дальнометрии на основе поверхностного возбуждения, включающего второе настраиваемое заземляющее устройство.

На Фиг. 3В проиллюстрирована диаграмма, на которой представлено распределение тока под землей, связанное со вторым настраиваемым заземляющим устройством на Фиг. 3А.

На Фиг. 4А проиллюстрирована упрощенная схема, на которой проиллюстрирована часть сценария дальнометрии на основе поверхностного возбуждения, включающего третье настраиваемое заземляющее устройство.

На Фиг. 4В проиллюстрирована диаграмма, на которой представлено распределение тока под землей, связанное с третьим настраиваемым заземляющим устройством на Фиг. 4А.

На Фиг. 5 проиллюстрирован график, отображающий нормированные кривые распределения тока в зависимости от измеренной глубины для различных настраиваемых заземляющих устройств.

На Фиг. 6 проиллюстрирована блок-схема иллюстративного способа дальнометрии на основе поверхностного возбуждения с использованием настраиваемого заземляющего устройства.

При этом следует понимать, что конкретные варианты реализации изобретения, проиллюстрированные на графических материалах и в нижеприведенном подробном описании сущности изобретения, не ограничивают объем данного изобретения. Напротив, для специалистов в данной области техники они обеспечивают основание для выявления альтернативных форм, эквивалентов и других модификаций, которые объединяются в объеме прилагаемой формулы изобретения.

#### ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ СУЩНОСТИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Описанные варианты реализации изобретения относятся к способам и системам дальнометрии на основе поверхностного возбуждения и системам, в которых используется настраиваемое заземляющее устройство. В данной заявке обсуждение

настраиваемых заземляющих устройств относится к базовому заземляющему устройству, содержащему разбивку одного или более обычных заземляющих стержней на поверхности земли, причем каждый обычный заземляющий стержень имеет радиус около 1 сантиметра, длину около 1 метра и проводимость около  $10^6$  См/м. Поскольку было установлено, что данное базовое заземляющее устройство не может обеспечить достаточно низкое сопротивление (испытания выполнялись при значении около 10,61 Ом), для обеспечения безопасности при выполнении операций дальнометрии на основе поверхностного возбуждения для замены или дополнения базового заземляющего устройства предлагается одно или более настраиваемых заземляющих устройств.

В некоторых вариантах реализации изобретения настраиваемое заземляющее устройство содержит один или более настраиваемых заземляющих стержней, имеющих по сравнению с обычным заземляющим стержнем увеличенную длину и/или увеличенный радиус. Кроме того, настраиваемое заземляющее устройство может содержать настраиваемый заземляющий стержень, используемый на большей глубине и/или имеющий улучшенный контакт с землей по сравнению с обычным заземляющим стержнем. В различных вариантах реализации изобретения для управления глубиной установки настраиваемого заземляющего стержня и/или степенью контакта между настраиваемым заземляющим стержнем и землей могут использоваться необсаженный ствол скважины и/или направляющий ствол скважины. Другие варианты настраиваемого заземляющего устройства включают использование в качестве настраиваемого заземляющего стержня скважинной обсадной колонны или якоря бурового основания. В некоторых вариантах реализации изобретения различные варианты настраиваемого заземляющего устройства выбирают или объединяют до тех пор, пока не будут удовлетворены критерии сопротивления и/или критерии эффективности дальнометрии. Данные критерии могут изменяться, например, в зависимости от длины конкретной целевой скважины и/или электрических свойств (например, удельного сопротивления, проводимости, проницаемости) пласта, окружающего целевую скважину. Для выбора вариантов для конкретного настраиваемого заземляющего устройства могут использоваться предыдущие результаты испытаний, текущие результаты испытаний или условия (например, наличие компонентов, оборудования или близлежащих необсаженных стволов скважин или скважинных обсадных колонн).

По меньшей мере в некоторых вариантах реализации изобретения типовой способ дальнометрии на основе поверхностного возбуждения включает установку настраиваемого заземляющего устройства для источника электропитания, расположенного на поверхности земли, причем настраиваемое заземляющее устройство удовлетворяет критериям сопротивления или критериям эффективности дальнометрии. Способ также включает подачу электрического тока, протекающего от источника электропитания вдоль целевой скважины с металлической обсадной колонной. Способ также включает измерение электромагнитных (ЭМ) полей, распространяемых из целевой скважины в результате протекания электрического тока. Способ также включает использование информации о расстоянии или направлении, полученной из обнаруженных ЭМ полей для направления бурения новой скважины относительно целевой скважины.

При этом типовая система поверхностного возбуждения содержит источник электропитания, расположенный на поверхности земли, и настраиваемое заземляющее устройство для источника питания, причем настраиваемое заземляющее устройство удовлетворяет критериям сопротивления или критериям эффективности дальнометрии. Система также содержит целевую скважину с металлической обсадной колонной для подачи электрического тока, протекающего от источника электропитания по всей ее

длине. Система также содержит по меньшей мере один датчик для обнаружения ЭМ полей, распространяемых из целевой скважины в результате протекания электрического тока. Система также содержит инструмент для наклонно-направленного бурения для бурения новой скважины относительно целевой скважины на основе информации о расстоянии или направлении, полученной из обнаруженных ЭМ полей. В данной заявке описаны различные варианты настраиваемого заземляющего устройства.

Для облегчения понимания описанных способов и систем дальнометрии на основе поверхностного возбуждения с использованием настраиваемого заземляющего устройства приводится описание в контексте иллюстративного использования. На Фиг. 1 проиллюстрирован иллюстративный сценарий 10 дальнометрии на основе поверхностного возбуждения с использованием настраиваемого заземляющего устройства 48. В сценарии 10 пробуривают новую скважину 16 относительно пробуренной и обсаженной целевой скважины 44. Целевая скважина 44 может быть пробурена с использованием буровой компоновки 40 и имеющегося бурового оборудования. Новую скважину 16 пробуривают таким же образом, при этом для управления направлением бурения новой скважины 16 относительно целевой скважины 44 выполняют операции дальнометрии на основе поверхностного возбуждения. В частности, новую скважину 16 пробуривают с использованием буровой компоновки 12, выполненной с возможностью спуска бурильной колонны 31 для создания новой скважины 16, которая проходит через пласты 19 земли 18. Бурильную колонну 31 составляют, например, из модульного набора сегментов 32 бурильной колонны и, возможно, соединительных муфт 33. На нижнем конце бурильной колонны 31 посредством компоновки низа бурильной колонны (КНБК) 34, содержащей буровое долото 35, извлекают материал из земли 18. Для облегчения извлечения материала буровое долото 35 может вращаться посредством вращения бурильной колонны 31 с буровой компоновкой 12 и/или с использованием двигателя (например, забойного двигателя), который содержит КНБК 34. Кроме того, для удаления бурового шлама из новой скважины 16 может осуществляться циркуляция бурового раствора. Например, данный буровой раствор может нагнетаться вниз по бурильной колонне 31 через отверстия в буровом долоте 35 и обратно к поверхности земли по кольцевому пространству в новой скважине 16.

Компоновка низа бурильной колонны 34 также содержит одну или более утяжеленных бурильных труб 37 и каротажный инструмент 36 с одним или более блоками датчика 38 ЭМ поля и/или другими датчиками. В некоторых вариантах реализации изобретения блоки датчика 38 ЭМ поля представляют собой множество индуктивных петель, ориентированных в разных направлениях. В сценарии 10 дальнометрии на основе поверхностного возбуждения посредством блоков датчиков 38 ЭМ поля измеряют характеристики ЭМ полей 46, создаваемых электрическим током, подаваемым по металлической обсадной колонне в целевой скважине 44, причем электрический ток подают в целевую скважину 44 посредством источника 42 электропитания, расположенного на поверхности земли. Каротажный инструмент 36 также может содержать электронные схемы для хранения данных, связи и т. д. Результаты измерений ЭМ поля и/или другие результаты измерений, собранные каротажным инструментом 36, передают на поверхность земли и/или сохраняют посредством каротажного инструмента 36. В любом случае результаты измерений ЭМ поля могут быть обработаны (в скважине или на поверхности земли) для определения информации о расстоянии или направлении, которая может использоваться для операций управления наклонно-направленным бурением, определяющих траекторию новой скважины 16. По меньшей

мере в некоторых вариантах реализации изобретения определенная информация о расстоянии или направлении соответствует расстоянию и направлению КНБК 34 (или точке вдоль КНБК 34), связанной с целевой скважиной 44.

Для передачи результатов измерений ЭМ поля или результатов измерений других видов на поверхность земли в каротажном инструменте 36 может использоваться один или более вариантов телеметрии, таких как гидроимпульсная скважинная телеметрия, акустическая телеметрия, ЭМ телеметрия и/или проводная телеметрия. На поверхности земли посредством интерфейса 14 принимают результаты измерений от каротажного инструмента 36 и передают результаты измерений в компьютерную систему 20. В некоторых вариантах реализации изобретения посредством поверхностного интерфейса 14 и/или компьютерной системы 20 могут выполняться различные операции, такие как преобразование сигналов из одной формы в другую, хранение результатов измерений и/или обработка результатов измерений. В качестве примера, по меньшей мере в некоторых вариантах реализации изобретения компьютерная система 20 содержит блок 22 обработки данных, посредством которого на основании результатов измерений ЭМ поля определяют информацию о расстоянии и/или направлении, как описано в данной заявке, посредством выполнения программного обеспечения или команд, полученных от локального или удаленного долговременного машиночитаемого носителя 28 информации. Также компьютерная система 20 может содержать устройство (-а) 26 ввода (например, клавиатуру, мышь, сенсорную панель и т. д.) и устройство (-а) 24 вывода (например, монитор, принтер и т. д.). С помощью данных устройств(-а) 26 ввода и/или устройств(-а) 24 вывода обеспечивается интерфейс пользователя, позволяющий оператору взаимодействовать с каротажным инструментом 36 и/или программным обеспечением, выполняемым блоком 22 обработки данных. Например, компьютерная система 20 может быть выполнена с возможностью просмотра оператором собранных результатов измерений, результатов обработки данных, выбора параметров источника электропитания, выбора параметров наклонно-направленного бурения и/или выполнения других задач, связанных со сценарием 10.

В сценарии 10 представлено настраиваемое заземляющее устройство 48 для источника 42 электропитания, причем настраиваемое заземляющее устройство 48 удовлетворяет критериям сопротивления или критериям эффективности дальнометрии. Источник 42 электропитания может быть соединен с настраиваемым заземляющим устройством 48 посредством изолированного кабеля 43. Для снижения риска поражения электрическим током персонала, находящегося на поверхности земли, по меньшей мере в некоторых вариантах реализации изобретения от источника 42 электропитания к месту ниже поверхности земли прокладывают изолированный кабель 43. Как показано штриховыми линиями 50, по меньшей мере часть электрического тока, подаваемого вдоль целевой скважины 44, попадает в землю 18 и возвращается к настраиваемому заземляющему устройству 48. Из-за утечки тока в землю 18 величина электрического тока, подаваемого вдоль целевой скважины 44, снижается по длине целевой скважины 44. Для увеличения напряженности ЭМ полей 46, распространяемых посредством целевой скважины 44, могут быть увеличены уровни напряжения и/или тока, подаваемые от источника 42 электропитания (возможно, потребуется источник электропитания большей мощности). Однако такое увеличение уровней напряжения и/или тока, подаваемых от источника 42 питания, может повысить риск поражения электрическим током персонала, находящегося на поверхности земли, особенно если компоненты источника 42 электропитания или настраиваемого заземляющего устройства 48 находятся в контакте с поверхностью земли. В типовом сценарии дальнометрии на основе поверхностного

возбуждения сила тока составляет 100 А, а уровень напряжения составляет 40-50 В, что приводит к уровню потребляемой мощности 4-5 кВт.

Таким образом, принцип действия настраиваемого заземляющего устройства 48 основан на критериях сопротивления и/или критериях дальнометрии, снижающих уровень риска, вызванного возможностью проведения операций дальнометрии при 5 дальнейшем бурении новой скважины 16 относительно целевой скважины 44. При необходимости, для уменьшения сопротивления может быть выполнена настройка настраиваемого заземляющего устройства 48 в соответствии с одним или более испытаний. Например, во время испытания может измеряться сопротивление, связанное 10 с настраиваемым заземляющим устройством 48, и/или отношение сигнал/шум (ОСШ) ЭМ полей 46 в некоторой точке вдоль целевой скважины 44.

Существуют различные варианты настраиваемого заземляющего устройства 48. На Фиг. 2А проиллюстрирована часть сценария 10А дальнометрии на основе 15 поверхностного возбуждения, которая содержит первое настраиваемое заземляющее устройство 48А. В сценарии 10А целевая скважина 44 проиллюстрирована как заполненная буровым раствором 45, имеющим низкое удельное сопротивление, а первое настраиваемое заземляющее устройство 48А проиллюстрировано как содержащее скважинную обсадную колонну 60, соединенную с источником 42 электропитания 20 посредством изолированного кабеля 43. Скважинная обсадная колонна 60 может представлять собой один или более сегментов обсадной трубы (как правило, каждый сегмент имеет длину около 30 футов (9,14 метров)), находящихся в контакте с землей 18. В некоторых вариантах реализации изобретения скважинную обсадную колонну 60 устанавливают в соответствии с испытанием (например, испытанием сопротивления или испытанием ОСШ). В качестве варианта, скважинная обсадная колонна 60 может 25 находиться в других скважинах, предварительно пробуренных и обсаженных. В случаях, когда это возможно, скважинная обсадная колонна 60, расположенная на некотором расстоянии и в пределах заданного диапазона от целевой скважины 44, может использоваться в качестве настраиваемого заземляющего стержня, дополняющего или 30 заменяющего обычные заземляющие стержни. Также как и в сценарии 10А дальнометрии на основе поверхностного возбуждения, скважинная обсадная колонна 60 может также использоваться для дополнения или замены других вариантов настраиваемого заземляющего устройства, описанного в данной заявке. Сопротивление настраиваемого заземляющего устройства, содержащего скважинную обсадную колонну 60, имеющую 35 следующие параметры:  $\sigma$   $10^6$  См/м,  $\mu_r$  100, внешний радиус 0,1 м, внутренний радиус 0,09 м и длина 30 м, оценивается примерно в 0,46 Ом.

На Фиг. 2В проиллюстрирована диаграмма 70А, на которой представлено 40 распределение тока под землей, связанное с первым настраиваемым заземляющим устройством 48А. На диаграмме 70А сила тока представлена с использованием градаций серой шкалы, причем белый цвет соответствует наименьшей силе тока, а черный цвет соответствует наибольшей силе тока. Как проиллюстрировано на диаграмме 70А, области с наибольшей силой тока в земле 18 находятся вблизи целевой скважины 44 и скважинной обсадной колонны 60, используемой в первом настраиваемом заземляющем устройстве 48А.

На Фиг. 3А проиллюстрирована часть сценария 10В дальнометрии на основе 45 поверхностного возбуждения, которая содержит второе настраиваемое заземляющее устройство 48В. В сценарии 10В целевая скважина 44 снова проиллюстрирована как заполненная буровым раствором 45. Проиллюстрировано, что второе настраиваемое заземляющее устройство 48В содержит скважинный заземляющий стержень 64,



установленный в необсаженном стволе 62 скважины в земле 18 и соединенный с источником 42 электропитания посредством изолированного кабеля 43. Необсаженный ствол 62 скважины может быть новым стволом скважины, пробуренным для установки скважинного заземляющего стержня 64, или имеющимся стволом скважины, находящимся вблизи целевой скважины 44. В некоторых вариантах реализации изобретения для сохранения целостности необсаженного ствола 62 скважины используется вставка или обсадная колонна из стекловолокна. В качестве варианта, скважинный заземляющий стержень 64 может быть установлен с использованием направляющего ствола скважины вместо или в дополнение к необсаженному стволу 62 скважины. Необсаженный ствол 62 скважины и/или направляющий ствол скважины расположен на некотором расстоянии и в пределах заданного диапазона от целевой скважины 44. В некоторых вариантах реализации изобретения скважинный заземляющий стержень 64 представляет собой открытый участок заземляющего кабеля (например, может использоваться изолированный кабель 43, причем конец изолированного кабеля 43 не изолирован). В других вариантах реализации изобретения скважинный заземляющий стержень 64 представляет собой настраиваемый заземляющий стержень, имеющий по сравнению с обычным заземляющим стержнем увеличенную длину и/или увеличенный радиус. В качестве примера, скважинный заземляющий стержень 64 может иметь длину по меньшей мере 10 метров, причем большая часть скважинного заземляющего стержня 64 после завершения установки находится в непосредственном контакте с землей 18. В некоторых вариантах реализации изобретения скважинный заземляющий стержень 64 устанавливаются в соответствии с испытанием (например, испытанием сопротивления или испытанием ОСШ). Также как и в сценарии 10В дальнометрии на основе поверхностного возбуждения, скважинный заземляющий стержень 64 может использоваться для дополнения или замены обычных заземляющих стержней и/или других вариантов настраиваемого заземляющего устройства, описанного в данной заявке. Сопротивление настраиваемого заземляющего устройства, содержащего скважинный заземляющий стержень (радиус 1 см, длина 10 метров и  $\sigma 10^6$  См/м), установленного в необсаженном стволе скважины длиной 20 м, оценивается примерно в 3,09 Ом.

На Фиг. 3В проиллюстрирована диаграмма 70В, на которой представлено распределение тока под землей, связанное со вторым настраиваемым заземляющим устройством 48В. На диаграмме 70В сила тока представлена с использованием градаций серой шкалы, причем белый цвет соответствует наименьшей силе тока, а черный цвет соответствует наибольшей силе тока. Как проиллюстрировано на диаграмме 70В, области с наибольшей силой тока в земле 18 находятся вблизи целевой скважины 44 и скважинного заземляющего стержня 64, используемого во втором настраиваемом заземляющем устройстве 48В. Как видно на диаграмме 70В, область наибольшей силой тока, связанная со скважинным заземляющим стержнем 64, сконцентрирована в скважине и не распространяется на поверхность земли, что приводит к более безопасным условиям труда на поверхности земли.

На Фиг. 4А проиллюстрирована часть сценария 10С дальнометрии на основе поверхностного возбуждения, которая содержит третье настраиваемое заземляющее устройство 48С. В сценарии 10С целевая скважина 44 снова проиллюстрирована как заполненная буровым раствором 45. Проиллюстрировано, что третье настраиваемое заземляющее устройство 48С содержит удлиненный заземляющий стержень 66, простирающийся глубоко в землю 18. Удлиненный заземляющий стержень 66 соединен с источником 42 электропитания посредством изолированного кабеля 43. Для установки

удлиненного заземляющего стержня 66 глубоко в землю 18 можно использовать направляющий ствол скважины. Дополнительно или в качестве варианта, может использоваться специализированный инструмент или буровая установка для проталкивания или забивки удлиненного заземляющего стержня 66 в землю 18 так, чтобы заданная часть удлиненного заземляющего стержня 66 находилась под землей и контактировала с землей 18. Удлиненный заземляющий стержень 66, по сравнению с обычным заземляющим стержнем, имеет увеличенную длину и, возможно, увеличенный радиус. В качестве примера, удлиненный заземляющий стержень 66 может иметь длину по меньшей мере 30 метров, причем большая часть удлиненного заземляющего стержня 66 после завершения установки находится в непосредственном контакте с землей 18. В некоторых вариантах реализации изобретения удлиненный заземляющий стержень 66 устанавливается в соответствии с испытанием (например, испытанием сопротивления или испытанием ОСШ). Также как и в сценарии 10С дальнометрии на основе поверхностного возбуждения удлиненный заземляющий стержень 66 может использоваться для дополнения или замены обычных заземляющих стержней и/или других вариантов настраиваемого заземляющего устройства, описанного в данной заявке. Сопротивление настраиваемого заземляющего устройства, содержащего удлиненный заземляющий стержень (радиус 1 см, длина 30 метров и  $\sigma 10^6$  См/м), в котором большая часть удлиненного заземляющего стержня находится в контакте с землей, оценивается примерно в 1,28 Ом.

На Фиг. 4В проиллюстрирована диаграмма 70С, на которой представлено распределение тока под землей, связанное с третьим настраиваемым заземляющим устройством 48С. На диаграмме 70С сила тока представлена с использованием градаций серой шкалы, причем белый цвет соответствует наименьшей силе тока, а черный цвет соответствует наибольшей силе тока. Как проиллюстрировано на диаграмме 70С, области с наибольшей силой тока находятся вблизи целевой скважины 44 и удлиненного заземляющего стержня 66, используемого в третьем настраиваемом заземляющем устройстве 48С. Без ограничения, второе настраиваемое заземляющее устройство 48В может быть более предпочтительным по сравнению с первым настраиваемым заземляющим устройством 48А и третьим настраиваемым заземляющим устройством 48А, поскольку посредством второго настраиваемого заземляющего устройства 48В сила тока концентрируется ниже поверхности земли, что приводит к более безопасным условиям труда на поверхности земли. Однако следует понимать, что все настраиваемые заземляющие устройства 48А, 48В и 48С обеспечивают повышенную безопасность по сравнению с представленным базовым заземляющим устройством. Другой вариант настраиваемого заземляющего устройства включает использование в качестве настраиваемого заземляющего стержня якоря бурового основания.

На Фиг. 5 проиллюстрирован график 80, отображающий нормированные кривые распределения тока в зависимости от измеренной глубины для различных настраиваемых заземляющих устройств. Как проиллюстрировано на графике 80, затухание тока вдоль целевой скважины для различных настраиваемых заземляющих устройств приблизительно одинаково.

На Фиг. 6 проиллюстрирована блок-схема 200 иллюстративного способа 200 дальнометрии на основе поверхностного возбуждения с использованием настраиваемого заземляющего устройства. Как проиллюстрировано, способ 200 на этапе 202 включает установку настраиваемого заземляющего устройства для источника электропитания, расположенного на поверхности земли. Принцип действия настраиваемого заземляющего устройства основан на критериях сопротивления или критериях

эффективности дальнометрии. Критерии сопротивления или критерии эффективности дальнометрии могут быть основаны на проведении испытаний для измерения сопротивления заземления или эффективности дальнометрии. Такие испытания могут выполняться во время операций дальнометрии или до операций дальнометрии. Кроме того, опыт, полученный из предыдущих исследовательских работ по дальнометрии на основе поверхностного возбуждения и настраиваемого заземляющего устройства, может служить руководством для новых исследовательских работ. Кроме того, для выбора параметров настраиваемого заземляющего устройства могут использоваться имеющиеся или новые каротажные диаграммы, относящиеся к электромагнитным свойствам земли вблизи целевой скважины или новой скважины. При необходимости, параметры настраиваемого заземляющего устройства могут быть объединены или настроены (например, может использоваться более длинный заземляющий стержень или большая глубина установки). После завершения установки настраиваемого заземляющего устройства (или настройки в соответствии с испытанием при определенных обстоятельствах) способ 200 включает подачу электрического тока, протекающего от источника электропитания вдоль целевой скважины, содержащей металлическую обсадную колонну (этап 204). На этапе 206 осуществляют измерение ЭМ полей, распространяемых из целевой скважины в результате протекания электрического тока. На этапе 208 используют информацию о расстоянии или направлении, полученную из измеренных ЭМ полей, для управления направлением бурения новой скважины относительно целевой скважины.

Варианты реализации изобретения, описанные в данной заявке, включают:

А: Способ дальнометрии на основе поверхностного возбуждения, включающий установку настраиваемого заземляющего устройства для источника электропитания, расположенного на поверхности земли, причем настраиваемое заземляющее устройство удовлетворяет критериям сопротивления или критериям эффективности дальнометрии. Способ также включает подачу электрического тока, протекающего от источника электропитания вдоль целевой скважины, содержащей металлическую обсадную колонну. Способ также включает измерение ЭМ полей, распространяемых из целевой скважины в результате протекания электрического тока. Способ также включает использование информации о расстоянии или направлении, полученной из обнаруженных ЭМ полей для управления направлением бурения новой скважины относительно целевой скважины.

В: Система дальнометрии на основе поверхностного возбуждения, содержащая источник электропитания, расположенный на поверхности земли, и настраиваемое заземляющее устройство для источника питания, причем настраиваемое заземляющее устройство удовлетворяет критериям сопротивления или критериям эффективности дальнометрии. Система также содержит целевую скважину с металлической обсадной колонной для подачи электрического тока, протекающего от источника электропитания по всей ее длине. Система также содержит по меньшей мере один датчик для измерения ЭМ полей, распространяемых из целевой скважины в результате протекания электрического тока. Система также содержит инструмент для наклонно-направленного бурения для бурения новой скважины относительно целевой скважины на основе информации о расстоянии или направлении, полученной из измеренных ЭМ полей.

Каждый из вариантов реализации изобретения А и В может включать один или более следующих дополнительных элементов в любой комбинации. Элемент 1: отличающийся тем, что установка настраиваемого заземляющего устройства включает подключение источника электропитания к металлической обсадной колонне, установленной в

скважине, расположенной отдельно от целевой скважины и новой скважины. Элемент 2: отличающийся тем, что установка настраиваемого заземляющего устройства включает соединение источника электропитания с заземляющим стержнем, полностью развернутым ниже поверхности земли. Элемент 3: дополнительно включающий бурение необсаженного ствола скважины или использование имеющегося необсаженного ствола скважины для полного развертывания заземляющего стержня ниже поверхности земли. Элемент 4: дополнительно включающий бурение направляющего ствола скважины для полного развертывания заземляющего стержня ниже поверхности земли. Элемент 5: отличающийся тем, что установка настраиваемого заземляющего устройства включает соединение источника электропитания с удлинённым заземляющим стержнем, причем длина его подземной части превышает заданное пороговое значение. Элемент 6: отличающийся тем, что установка настраиваемого заземляющего устройства включает соединение источника электропитания с заземляющим кабелем, содержащим изолированный участок и открытый участок, причем открытый участок находится ниже поверхности земли. Элемент 7: дополнительно включающий размещение настраиваемого заземляющего устройства на определенном расстоянии от целевой скважины на основании заданного расстояния или критериев измерения дальности, а также прокладывание изолированного кабеля между источником электропитания и местоположением заземления ниже поверхности земли. Элемент 8: дополнительно включающий настройку параметров настраиваемого заземляющего устройства до тех пор, пока значение сопротивления не будет ниже порогового значения, удовлетворяющего критериям сопротивления. Элемент 9: дополнительно включающий настройку параметров настраиваемого заземляющего устройства до тех пор, пока отношение сигнал/шум (ОСШ) дальнометрии не будет выше порогового значения, удовлетворяющего критериям эффективности дальнометрии.

Элемент 10: отличающийся тем, что настраиваемое заземляющее устройство содержит металлическую обсадную колонну, установленную в скважине, расположенной отдельно от целевой скважины и новой скважины. Элемент 11: отличающийся тем, что настраиваемое заземляющее устройство содержит заземляющий стержень, полностью развернутый ниже поверхности земли. Элемент 12: отличающийся тем, что заземляющий стержень полностью развертывают ниже поверхности земли с использованием необсаженного ствола скважины. Элемент 13: отличающийся тем, что заземляющий стержень полностью развертывают ниже поверхности земли с использованием направляющего ствола скважины. Элемент 14: отличающийся тем, что настраиваемое заземляющее устройство содержит удлинённый заземляющий стержень, причем длина его подземной секции превышает заданное пороговое значение. Элемент 15: отличающийся тем, что настраиваемое заземляющее устройство содержит заземляющий кабель, содержащий изолированный участок и открытый участок, причем открытый участок находится ниже поверхности земли. Элемент 16: отличающийся тем, что настраиваемое заземляющее устройство содержит изолированный кабель, который проложен между источником электропитания и местоположением ниже поверхностью земли. Элемент 17: отличающийся тем, что настраиваемое заземляющее устройство располагают на расстоянии от целевой скважины на основе заданного расстояния или критериев измерения дальности. Элемент 18, дополнительно содержащий каротажный инструмент для сбора результатов измерений свойств пласта в одной или более точках вдоль целевой скважины, причем критерии сопротивления основаны на собранных результатах измерений.

Многочисленные другие варианты и модификации станут очевидными для

специалистов в данной области техники, как только вышеприведенное описание будет полностью оценено. Например, описанные в данной заявке варианты настраиваемого заземляющего устройства могут также использоваться для повышения безопасности или выполнения операций мониторинга добычи, операций мониторинга продуктивного пласта, ЭМ телеметрии и/или других операций, при которых используют источник электропитания на поверхности земли. Предполагается, что последующая формула изобретения будет интерпретироваться для охвата всех таких вариантов и модификаций везде, где это применимо.

10 (57) Формула изобретения

1. Способ дальнометрии на основе поверхностного возбуждения, включающий: установку настраиваемого заземляющего устройства для источника электропитания, расположенного на поверхности земли, причем настраиваемое заземляющее устройство удовлетворяет критериям сопротивления или критериям эффективности дальнометрии; подачу электрического тока, выходящего из источника электропитания, вдоль целевой скважины, содержащей металлическую обсадную колонну;

15 измерение электромагнитных (ЭМ) полей, распространяемых из целевой скважины в результате протекания электрического тока; и

использование информации о расстоянии или направлении, полученной из измеренных ЭМ-полей, для управления направлением бурения новой скважины относительно целевой скважины.

2. Способ по п. 1, отличающийся тем, что установка настраиваемого заземляющего устройства включает подключение источника электропитания к металлической обсадной колонне, установленной в скважине, расположенной отдельно от целевой скважины и новой скважины.

25 3. Способ по п. 1, отличающийся тем, что установка настраиваемого заземляющего устройства включает соединение источника электропитания с заземляющим стержнем, полностью развернутым ниже поверхности земли.

4. Способ по п. 3, дополнительно включающий бурение необсаженного ствола скважины или использование имеющегося необсаженного ствола скважины для полного развертывания заземляющего стержня ниже поверхности земли.

5. Способ по п. 3, дополнительно включающий бурение направляющего ствола скважины для полного развертывания заземляющего стержня ниже поверхности земли.

35 6. Способ по п. 1, отличающийся тем, что установка настраиваемого заземляющего устройства включает соединение источника электропитания с заземляющим кабелем, содержащим изолированный участок и открытый участок, причем открытый участок находится ниже поверхности земли.

7. Способ по п. 1, отличающийся тем, что установка настраиваемого заземляющего устройства включает соединение источника электропитания с удлиненным заземляющим стержнем, причем длина его подземной части превышает заданное пороговое значение.

40 8. Способ по п. 1, дополнительно включающий размещение настраиваемого заземляющего устройства на определенном расстоянии от целевой скважины на основании заданного расстояния или критериев измерения дальности, а также прокладывание изолированного кабеля между источником электропитания и местоположением заземления ниже поверхности земли.

9. Способ по любому из пп. 1-8, дополнительно включающий настройку параметров настраиваемого заземляющего устройства до тех пор, пока значение сопротивления не будет ниже порогового значения, удовлетворяющего критериям сопротивления.

10. Способ по любому из пп. 1-8, дополнительно включающий настройку параметров настраиваемого заземляющего устройства до тех пор, пока отношение сигнал/шум (ОСШ) дальнометрии не будет выше порогового значения, удовлетворяющего критериям эффективности дальнометрии.

5 11. Система дальнометрии на основе поверхностного возбуждения, содержащая: источник электропитания, расположенный на поверхности земли; настраиваемое заземляющее устройство для источника электропитания, причем настраиваемое заземляющее устройство удовлетворяет критериям сопротивления или критериям эффективности дальнометрии;

10 целевую скважину с металлической обсадной колонной для подачи электрического тока, выходящего из источника электропитания, по всей ее длине;

по меньшей мере один датчик для обнаружения ЭМ-полей, распространяемых из целевой скважины в результате протекания электрического тока; и

15 инструмент для наклонно-направленного бурения для бурения новой скважины относительно целевой скважины на основе информации о расстоянии или направлении, полученной из обнаруженных ЭМ-полей.

12. Система по п. 11, отличающаяся тем, что настраиваемое заземляющее устройство содержит металлическую обсадную колонну, установленную в скважине, расположенной отдельно от целевой скважины и новой скважины.

20 13. Система по п. 11, отличающаяся тем, что настраиваемое заземляющее устройство содержит заземляющий стержень, полностью развернутый ниже поверхности земли.

14. Система по п. 13, отличающаяся тем, что заземляющий стержень полностью развертывают ниже поверхности земли с использованием необсаженного ствола скважины.

25 15. Система по п. 13, отличающаяся тем, что заземляющий стержень полностью развертывают ниже поверхности земли с использованием направляющего ствола скважины.

16. Система по п. 11, отличающаяся тем, что настраиваемое заземляющее устройство содержит удлиненный заземляющий стержень, причем длина его подземной секции  
30 превышает заданное пороговое значение.

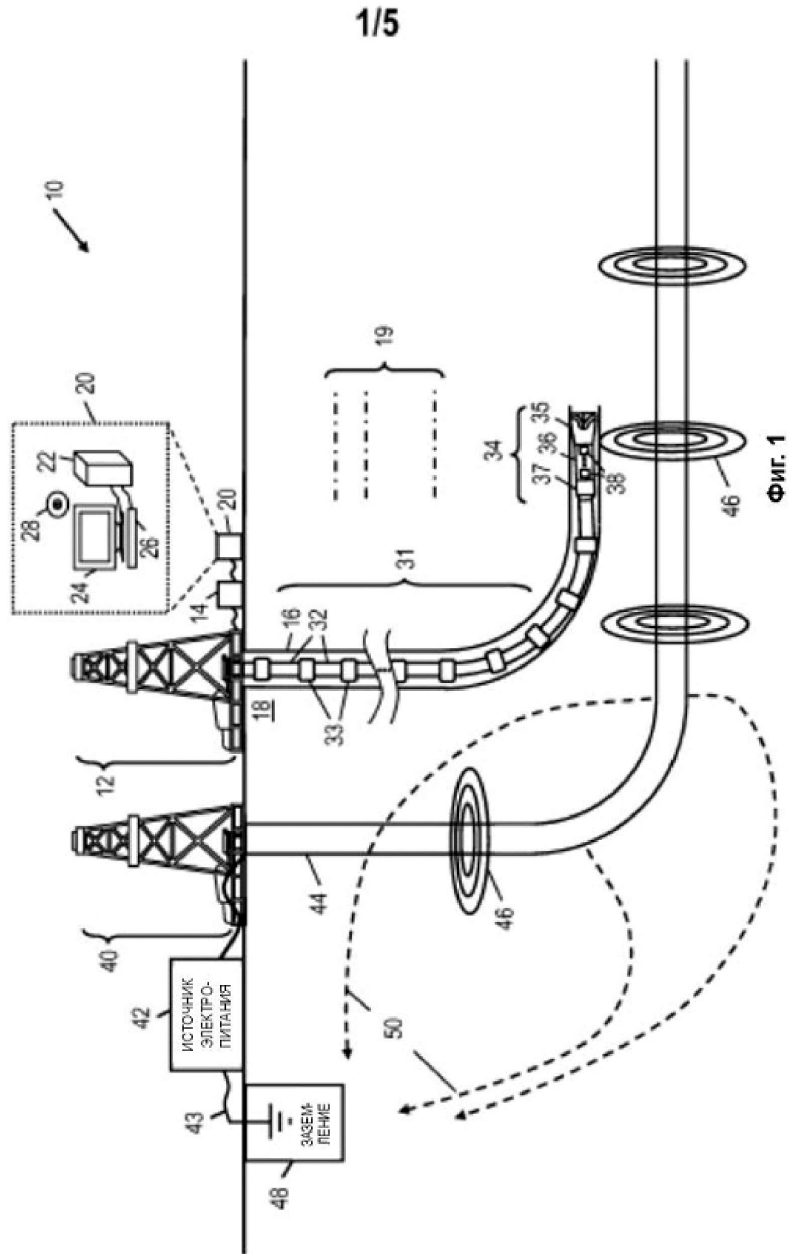
17. Система по п. 11, отличающаяся тем, что настраиваемое заземляющее устройство содержит заземляющий кабель, содержащий изолированный участок и открытый участок, причем открытый участок находится ниже поверхности земли.

35 18. Система по п. 11, отличающаяся тем, что настраиваемое заземляющее устройство содержит изолированный кабель, который проложен между источником электропитания и местоположением ниже поверхности земли.

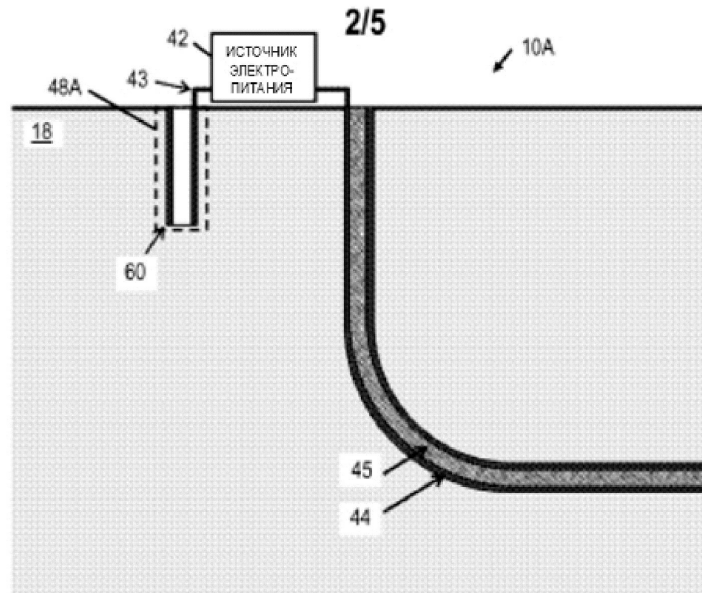
19. Система по п. 11, отличающаяся тем, что настраиваемое заземляющее устройство располагают на расстоянии от целевой скважины на основе заданного расстояния или критериев измерения дальности.

40 20. Система по любому из пп. 11-19, дополнительно содержащая инструмент каротажа удельного сопротивления или проводимости для сбора результатов измерений свойств пласта в одной или более точках вдоль целевой скважины, причем критерии сопротивления основаны на собранных результатах измерений.

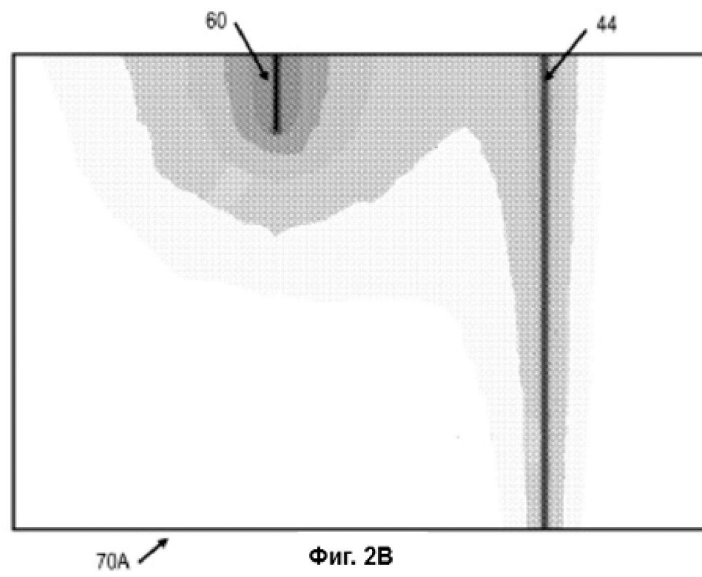
1



2

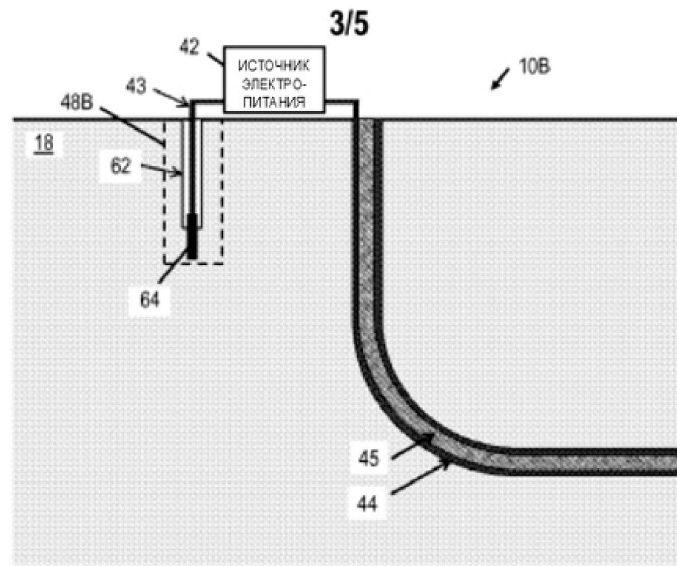


Фиг. 2А

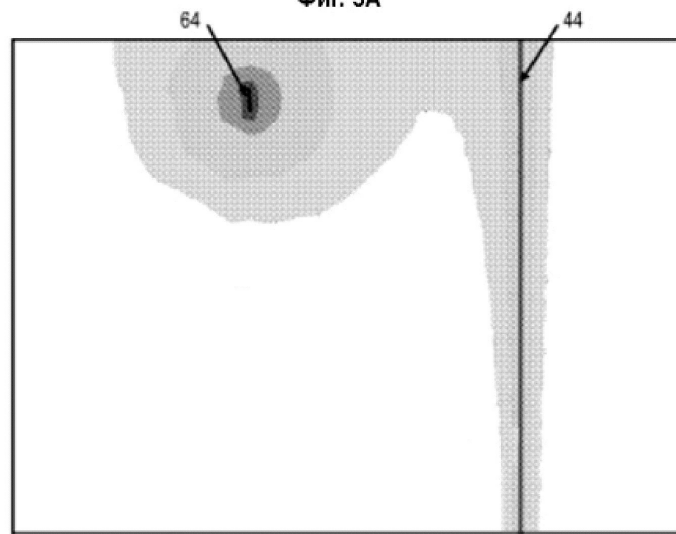


Фиг. 2В

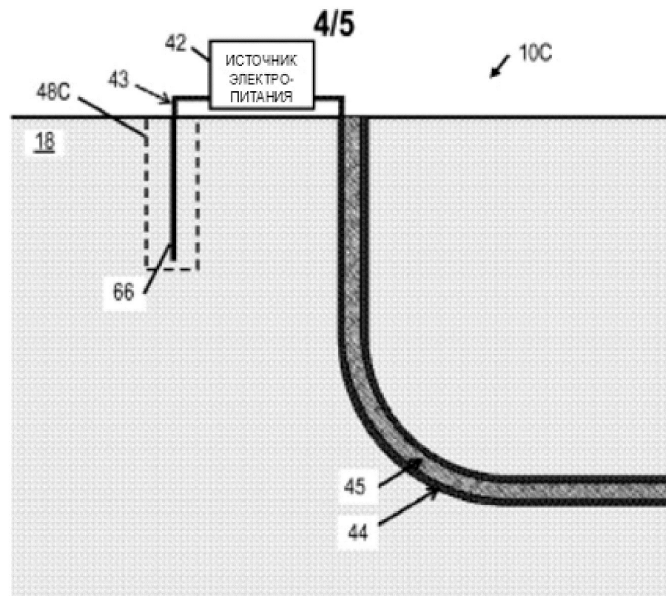




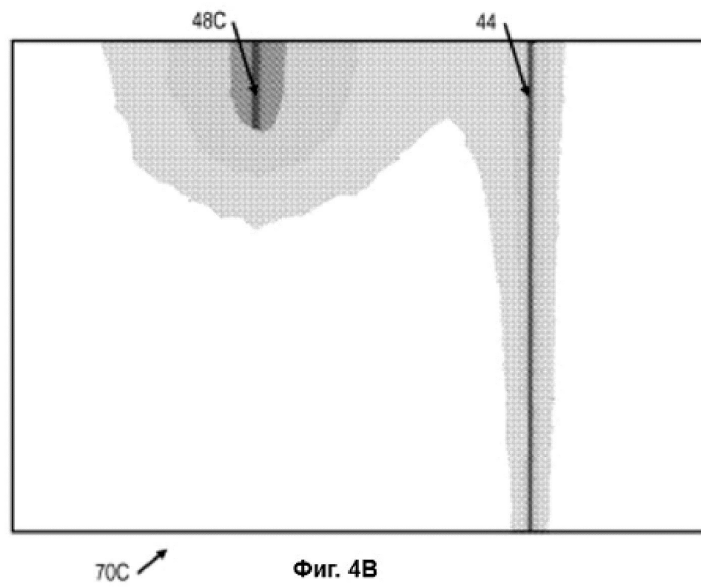
Фиг. 3А



Фиг. 3В



Фиг. 4А



Фиг. 4В

5/5

