

(19)



Евразийское
патентное
ведомство

(21) 201791837 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2019.03.29

(51) Int. Cl. *E21B 47/107* (2012.01)
G01V 1/40 (2006.01)

(22) Дата подачи заявки
2017.09.13

(54) СПОСОБ И СИСТЕМА АНАЛИЗА СКВАЖИНЫ С ПОМОЩЬЮ ПАССИВНОГО
АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА

(96) 2017000086 (RU) 2017.09.13

(71) Заявитель:
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"СОНОГРАМ" (ООО "СОНОГРАМ")
(RU)**

(72) Изобретатель:
**Асланян Артур Михайлович,
Давыдов Дмитрий Александрович,
Андронов Сергей Павлович, Бочкарев
Владимир Владимирович, Закирова
Юлия Анатольевна (RU)**

(74) Представитель:
**Котлов Д.В., Черняев М.А.,
Пустовалова М.Л., Яремчук А.А.,
Акуленко Е.С., Равлина Е.А. (RU)**

(57) Заявленное изобретение относится к средствам для анализа разработки месторождений полезных ископаемых с помощью шумометрии. Техническим результатом является повышение точности определения положения источника звука при проведении локации в скважинах со сложной многобарьерной конструкцией. Способ определения положения источника акустических шумов в скважине содержит этапы, на которых выполняют компьютерное моделирование акустического поля в скважине, создаваемого по меньшей мере одним источником акустического сигнала в скважине; производят синхронную регистрацию акустических сигналов внутри ствола скважины с помощью устройства регистрации акустических сигналов, содержащего по меньшей мере два акустических сенсора; определяют положение упомянутого источника акустического сигнала в скважине на основании обработки данных компьютерного моделирования и данных, полученных в ходе регистрации акустических сигналов внутри ствола скважины с помощью упомянутого устройства.

A1

201791837

201791837

A1

СПОСОБ И СИСТЕМА АНАЛИЗА СКВАЖИНЫ С ПОМОЩЬЮ ПАССИВНОГО АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

[0001] Заявленное изобретение относится к средствам для анализа разработки месторождений полезных ископаемых с помощью шумометрии. Спектральная (акустическая) скважинная шумометрия относится к методам геофизических исследований эксплуатационных нефтяных и газовых скважин, применяемым для анализа технического состояния скважины, выявления отдающих и принимающих интервалов пласта, определения гидродинамических параметров пластов. Спектральная шумометрия основана на регистрации акустического шума, производимого при движении жидкости или газа по пласту или через сквозные нарушения в конструкции скважины.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

[0002] В патенте WO 2013/008035 A2 предлагается метод определения целостности конструкции скважин, геометрии потока флюида и его состава внутри ствола скважины, а также контроля за состоянием пласта-коллектора, основанный на анализе акустических данных. Описанное изобретение состоит из трёх основных этапов: регистрации акустических шумов в скважине, обработке полученных данных для определения скорости звука, как функции глубины и/или времени и последующего анализа этих зависимостей. На первом этапе в скважину опускаются оптоволоконные датчики, которые производят регистрацию сигнала одновременно на многих глубинах, затем из полученных данных при помощи математического аппарата определяют скорость звука, относительные амплитуды различных мод сигнала и дисперсионные характеристики на всех измеренных глубинах. Для определения неизвестных характеристик скважин, таких как, например, твёрдость пород, используется модель распространения акустических шумов в скважине, входными параметрами которой являются скорости звука. Исследуя всевозможными способами вариации скорости звука разных мод сигнала определяют глубины, на которых в стволе скважины происходит дегазация или имеются твёрдые включения.

[0003] Главным недостатком предложенного метода является то, что в качестве регистрирующих датчиков может быть использовано исключительно оптоволокно. На сегодняшний день диапазон регистрируемых частот для этого типа датчиков ограничен низкими частотами (единицы - первые десятки кГц), в то время, как многие важные

процессы в скважине, такие как, шум, создаваемый течением флюида через сквозное нарушение или по пласту-коллектору, могут создавать шумы до 100 кГц.

[0004] В патенте US 2010/0262373 предложен способ детектирования и локации в реальном времени микросейсмических событий, происходящих в скважине. В данном методе акустические шумы регистрируются трёхкомпонентными датчиками. Далее определяются характеристики зарегистрированных сигналов - времена прихода S и P волн и, возможно, их углы падения учитывая поляризацию, оценивается отношение сигнала к шуму. После этого производится сравнение полученных параметров с модельными, путем построения целевой функции и нахождением её экстремума при помощи методов градиентного спуска.

[0005] Недостатком данного метода является то, что он предназначен для детектирования и локализации исключительно сейсмических явлений таких, как, например, развитие трещин в пласте-коллекторе при проведении процедуры гидроразрыва пласта, и не позволяет оценивать рабочие интервалы пласта, целостность конструкции скважин и проводить любой другой анализ, связанный с исследованием движения флюидов.

[0006] Наиболее близким к описываемому изобретению является патент WO 2016/115012 A1. В данном патенте представлены метод и система для детектирования и локализации одного или более источников акустического шума в скважине. Для этого в описанном методе используется прибор с тремя и более датчиками, роль которых могут выполнять гидрофоны, оптоволоконные кабели или волоконные брэгговские решётки, производящий синхронную регистрацию сигнала одновременно всеми датчиками, и методы обработки сигналов, основывающиеся на формировании приёмной апертуры для определения положения источника.

[0007] Основными недостатками данного методе является усложненная схмотехника – необходимость использование минимум трёх датчиков, а также отсутствие детального моделирования распространения акустических сигналов в скважине, что приводит к недостаточной точности определения параметров в случае многобарьерных конструкций.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0008] Задачей изобретения является определение положения источника акустических шумов в скважине при помощи пассивного акустического каротажа с использованием прибора с упрощенной схмотехникой - содержащего два и более сенсора, а также за счет применения новых способов обработки и анализа акустических данных.

[0009] Техническим результатом является повышение точности положения источника звука при проведении локации в скважинах со сложной многобарьерной конструкцией.

[0010] Источниками акустических шумов в скважине могут служить течение флюида через сквозное нарушение в конструкции скважины, латеральные потоки в пласте коллекторе, перетоки, возникающие между пластами коллекторами и любые другие процессы, вызывающие акустическую эмиссию.

[0011] Поставленная задача и требуемый технический результат при использовании изобретения достигается тем, что способ определения положения источника акустических шумов в скважине содержит этапы, на которых:

-выполняют компьютерное моделирование акустического поля в скважине, создаваемого по меньшей мере одним источником акустического сигнала в скважине;

-производят синхронную регистрацию акустических сигналов внутри ствола скважины с помощью устройства регистрации акустических сигналов, содержащего по меньшей мере два акустических сенсора;

-определяют положение упомянутого источника акустического сигнала в скважине на основании обработки данных компьютерного моделирования и данных, полученных в ходе регистрации акустических сигналов внутри ствола скважины с помощью упомянутого устройства.

[0012] В частном варианте выполнения способа положение источника акустического сигнала характеризуется глубиной от поверхности и расстоянием от оси скважины.

[0013] В частном варианте выполнения способа регистрация акустических сигналов внутри ствола скважины производится синхронно всеми сенсорами.

[0014] В частном варианте выполнения способа компьютерное моделирование создаваемого акустического поля выполняют с помощью акустического симулятора.

[0015] В частном варианте выполнения способа при использовании двух акустических сенсоров, регистрацию акустических сигналов в скважине выполняют на по меньшей мере двух глубинах.

[0016] В частном варианте выполнения способа в случае, азимутального распределения трёх и более акустических сенсоров в скважине, дополнительно определяют азимутальное направление на источник шума.

[0017] В частном варианте выполнения способа на этапе компьютерного моделирования выполняется расчет акустического поля от источника в скважине на различных расстояниях от упомянутого источника и при различных сдвигах источника по вертикали и радиальному удалению от ствола скважины.

[0018] В частном варианте выполнения способа расчет производится с учетом параметров конструкции скважины, представляющих собой по меньшей мере радиусы барьеров скважины.

[0019] В частном варианте выполнения способа дополнительно учитываются типы сред барьеров и/или окружающих их сред, и/или типы флюидов, заполняющих межтрубное пространство.

[0020] В частном варианте выполнения способа на этапе компьютерного моделирования и после регистрации акустических сигналов внутри ствола скважины с помощью устройства определяются групповые задержки и/или фазовые задержки, и/или разница акустической энергии сигналов на акустических сенсорах.

[0021] В частном варианте выполнения способа сопоставление результатов компьютерного моделирования и данных, полученных в ходе регистрации акустических сигналов внутри ствола скважины с помощью устройства, включает в себя построение целевой функции, включающей в себя групповые задержки и/или фазовые задержки, и/или разницу акустической энергии сигналов на акустических сенсорах, аргументом которой является положение источника в стволе скважины.

[0022] В частном варианте выполнения способа положение источника в стволе скважины определяется экстремумом целевой функции.

[0023] В другом предпочтительном варианте реализации заявленного изобретения представлена система анализа скважины с помощью пассивного акустического каротажа, которая содержит:

- устройство регистрации акустических сигналов внутри ствола скважины, содержащее по меньшей мере два акустических сенсора, выполненное с возможностью получения данных о по меньшей мере одном источнике акустического сигнала в скважине и передачи полученных данных в вычислительное устройство;

- вычислительное устройство, содержащее по меньшей мере один процессор и по меньшей мере одно средство памяти, содержащее машиночитаемые инструкции, которые при их выполнении по меньшей мере одним процессором осуществляют моделирование акустического поля в скважине, создаваемое по меньшей мере одним источником акустического сигнала в скважине;

причем

- вычислительное устройства выполнено с возможностью обработки данных, полученных в ходе компьютерного моделирования, и данных, полученных от устройства регистрации

акустических сигналов внутри ствола скважины, и определяет на основании упомянутой обработки положение упомянутого источника акустического сигнала.

[0024] В частном варианте реализации системы вычислительное устройство выбирается из группы: компьютер, планшет, сервер или смартфон.

[0025] В частном варианте реализации системы устройство регистрации акустических сигналов передает данные сканирования на вычислительное устройство по проводному или беспроводному каналу передачи данных.

[0026] В частном варианте реализации системы определяемое положение источника акустического сигнала характеризуется глубиной от поверхности и расстоянием от оси скважины.

[0027] В частном варианте реализации системы регистрация акустических сигналов внутри ствола скважины производится синхронно всеми сенсорами устройства регистрации акустических сигналов.

[0028] В частном варианте реализации системы моделирование создаваемого акустического поля с помощью вычислительного устройства выполняют с помощью акустического симулятора.

[0029] В частном варианте реализации системы при использовании двух акустических сенсоров, регистрацию акустических сигналов в скважине выполняют на по меньшей мере двух глубинах.

[0030] В частном варианте реализации системы в случае, азимутального распределения трёх и более акустических сенсоров в скважине, дополнительно определяют азимутальное направление на источник шума.

[0031] В частном варианте реализации системы при моделировании распространения акустического поля с помощью вычислительного устройства выполняется расчет акустического поля от источника в скважине на различных расстояниях от упомянутого источника и при различных сдвигах источника по вертикали и радиальному удалению от ствола скважины.

[0032] В частном варианте реализации системы расчет производится с учетом параметров конструкции скважины, представляющих собой по меньшей мере радиусы барьеров скважины.

[0033] В частном варианте реализации системы дополнительно учитываются типы сред барьеров и/или окружающих их сред, и/или типы флюидов, заполняющих межтрубное пространство.

[0034] В частном варианте реализации системы на этапе моделирования акустического поля с помощью вычислительного устройства и после регистрации акустических сигналов в скважине с помощью устройства регистрации акустических сигналов определяются групповые задержки и/или фазовые задержки, и/или разница акустической энергии сигналов на акустических сенсорах.

[0035] В частном варианте реализации системы вычислительное устройство осуществляет сопоставление результатов моделирования и данных, полученных в ходе регистрации акустических сигналов внутри ствола скважины с помощью устройства регистрации акустических сигналов, с помощью построения целевой функции, включающей в себя групповые задержках и/или фазовые задержках, и/или разницу акустической энергии сигналов на акустических сенсорах, аргументом которой является положение источника в стволе скважины.

[0036] В частном варианте реализации системы положение источника в стволе скважины определяется экстремумом целевой функции.

ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

[0037] На Фиг. 1 показано возможное расположение регистрирующих сенсоров в стволе многобарьерной скважины, при проведении пассивного акустического каротажа в целях определения положения источника или источников акустических шумов. Регистрирующие сенсоры могут быть расположены линейно вдоль оси скважины как показано на рисунке, либо нелинейно. Сенсоры, имеющие линейное расположение, могут быть расположены эквидистантно, либо иметь разное расстояние между центрами. На рисунке стрелками показаны возможные источники акустических шумов в скважине такие как фильтрация флюида по пласту-коллектору и переток флюида из вышележащего пласта.

[0038] На Фиг. 2 показана блок-схема алгоритма проведения локации положения источника или источников акустических шумов в скважине.

[0039] На Фиг. 3 приведен пример разности фаз акустического поля в источнике и на сенсоре при различном удалении от источника акустического шума по вертикали и по радиусу в случае многобарьерной скважины, имеющей насосно-компрессорную трубу и две обсадные колонны (вертикальные белые полосы обозначают последовательность барьеров).

[0040] На Фиг. 4 приведен пример корреляционной функции теоритических и экспериментальных групповых задержек, которая может быть использована для определения положения источника акустических шумов в скважине. В приведенном примере источник шума был один и положение максимума корреляционной функции

позволяет определить, что он находился на расстоянии 7 см от оси скважины и на глубине 25.6 м от её поверхности. В данном примере источником акустического шума служило сквозное нарушение в первом барьере.

[0041] На Фиг. 5 показан способ определения положения источника акустических шумов при помощи прибора, содержащего два регистрирующих сенсора, при проведении измерений в двух позициях. A1 – первый сенсор прибора в первом положении, A2- первый сенсор прибора во втором положении, B1 – второй сенсор прибора в первом положении, B2- второй сенсор прибора во втором положении, S - источник, L - расстояние между сенсорами прибора. R расстояние между положениями прибора.

[0042] На Фиг. 6 представлен пример определения положения источника акустического шума в нагнетательной скважине в лабораторных условиях. Источником акустического шума в стволе скважины является негерметичность во втором барьере конструкции. Слева направо показана колонка глубины (DEPTH), колонка конструкции скважины (WELL SKETCH), литологии (LITHOLOGY), спектральная панель с замером шумометрии и панель положения источника шума в скважине (LOCATION).

[0043] На Фиг. 7 представлена общая схема вычислительного устройства.

[0044] На Фиг. 8 представлен общий вид системы обмена информацией между вычислительным устройством и сервером.

ДЕТАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

[0045] Далее будет изложено подробное описание изобретения с отсылкой на соответствующие графические поясняющие материалы. Стоит отметить, что приведенные иллюстрации отражают только наиболее предпочтительное применение заявленного технического решения и не ограничивают объема испрашиваемой правовой охраны в иных, частных формах его реализации.

[0046] Заявленный способ определения положения источника или источников акустических шумов состоит из следующих основных этапов: расчет акустического поля в скважине при помощи компьютерного моделирования, проведение регистрации акустических шумов внутри ствола скважины при помощи прибора пассивного акустического каротажа, имеющего два и более сенсора на двух и более глубинах, определение глубины от поверхности и расстояния от оси скважины до источника или источников на основании обработки зарегистрированных данных и данных, полученных при помощи компьютерного моделирования.

[0047] На Фиг.1 приведен схематический рисунок возможного расположения регистрирующих сенсоров внутри многобарьерной скважины, при проведении пассивного акустического каротажа. Регистрирующие сенсоры могут быть расположены линейно вдоль оси скважины как показано на рисунке, либо нелинейно. Сенсоры, имеющие линейное расположение, могут быть расположены эквидистантно, либо иметь разное расстояние между центрами. Также на рисунке показаны два возможных источника акустических шумов в скважине – фильтрация флюида по пласту-коллектору и переток флюида из вышележащего пласта. Детальная схема алгоритма локации (100) приведена на Фиг. 2.

[0048] На этапах (101) и (102) проведения локации положения источника или источников акустических шумов в скважине происходит получение основных данных о конструкции скважины, таких как диаметры имеющихся барьеров и выполняется построение модели распространения акустического сигнала с учетом этих параметров. Моделирование проводится при помощи акустического симулятора, который реализуется на базе специализированного программного обеспечения. Акустический симулятор выполняет автоматизированный расчет акустического поля, создаваемого источником или источниками на различном удалении от оси скважины. Описываемый расчет производится для различных положений источников акустических шумов, которые задаются глубиной от поверхности и расстоянием от оси скважины, и определяются различным способом для каждого исследования в зависимости от поставленной задачи. Входными параметрами симулятора в целях повышения точности расчётов могут также являться типы сред барьеров и/или окружающих их сред, и/или типы флюидов, заполняющих межтрубное пространство скважины, в том случае, если они известны.

[0049] В акустическом симуляторе для каждой из заданных сред при помощи численных методов решаются волновые уравнения с соответствующими граничными условиями.

Волновое уравнение для звука в жидкости известно и описывается выражением (1). Для

$$\Delta p + k^2 p = a(\omega) \delta(r - r_0), (1)$$

примера мы запишем уравнения для случая, когда источник шума находится в жидкости:

где r – радиус-вектор, r_0 – положение источника, p – давление, ω – циклическая частота, $k = \omega/c$ – волновое число, c – скорость звука, $a(\omega)$ – комплексная амплитуда источника.

[0050] Упругие силы в твердом теле определяются законом Гука, который дается следующим выражением:

$$\sigma_{i,j} = \lambda \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \delta_{i,j} + \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (2)$$

Здесь $\sigma_{i,j}$ - тензор напряжений, u – вектор смещения текущей частицы от положения равновесия, а λ , μ – параметры Ламе. Связь коэффициентов Ламе с более распространенными модулем Юнга E и коэффициентом Пуассона ν дается формулами:

$$\lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)}$$

$$\mu = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Если тензор напряжений задан, изменение деформации твердого тела описывается уравнением:

$$\rho \frac{\partial^2}{\partial t^2} u_j = \frac{\partial \sigma_{i,j}}{\partial x_k} \quad (3)$$

[0051] Граничные условия для двух твёрдых сред могут быть записаны следующим образом:

$$1. \quad u_r^{TB.T1} = u_r^{TB.T2} \quad (4)$$

$$2. \quad u_z^{TB.T1} = u_z^{TB.T2} \quad (5)$$

$$3. \quad \sigma^{TB.T1} n = \sigma^{TB.T2} n \quad (6),$$

где $\sigma^{TB.T1} n$ и $\sigma^{TB.T2} n$ – нормальные компоненты тензоров напряжений первого и второго твердого тела, соответственно, n – вектор нормали к границе раздела.

[0052] Граничные условия для раздела твердая среда – жидкая среда могут быть записаны следующим образом:

$$1. \quad u_r^{(TB.T)} = \frac{1}{\omega^2 \rho} (n \cdot \nabla) p \quad (7)$$

$$2. \quad (n, \sigma^{TB.T1} n) = -p \quad (8)$$

$$3. \quad \left(\begin{bmatrix} -n_z \\ n_r \end{bmatrix}, \sigma^{TB.T1} n \right) = 0 \quad (9),$$

где σ_n – нормальная компонента тензора напряжений, n – вектор нормали к границе раздела.

[0053] Результатом решения в симуляторе волновых уравнений (1)-(3) с граничными условиями (4)-(9) являются комплексные амплитуды сигналов в точке регистрирующего акустического устройства, создаваемые различными источниками, находящимися в

различных точках пространства (например, на разных барьерах скважины). Полученные величины несут в себе полную информацию об акустическом поле, и позволяют на этапе (103) произвести расчёт таких величин, как групповые, фазовые задержки и/или разницу акустической энергии сигналов на регистрирующих акустических сенсорах. На Фиг. 3 приведен пример расчетной разности фаз акустического поля в источнике и на сенсоре при различном положении источника акустического шума по вертикали и по радиусу в случае многобарьерной конструкции.

[0054] На этапах (104) – (105) происходит размещение двух и более сенсоров внутри ствола исследуемой скважины, далее производится синхронная регистрация акустического излучения (шума) в стволе скважины на двух и более глубинах. В случае, если в качестве сенсоров используются технологии отличные от оптоволоконна, указанные измерения акустической эмиссии в скважине могут проводиться как во время спуска, так и во время подъема устройства. При этом процесс спуска и/или подъема устройства используемый для исследования, может проходить с кратковременными остановками. В этом случае для анализа будут использованы данные снятые во время остановок, поскольку они являются более достоверными и не требуют дополнительной фильтрации шумов, создаваемых движением устройства в скважине. Рекомендуемая длительность стоянок составляет 10 сек и выше, рекомендуемое расстояние между стоянками – 1 м. На этапе 106 полученные акустические данные используются для расчёта экспериментальных групповых, фазовых задержек и/или разницы акустической энергии сигналов на регистрирующих акустических сенсорах. Расчет групповых задержек может производиться, например, с использованием обобщенной кросскорреляционной функции к временным записям сигнала или другими известными методами.

[0055] На заключительных этапах выполняется определение положения источника или источников акустических шумов в скважине путём сопоставления результатов компьютерного моделирования и данных, полученных в ходе регистрации акустических сигналов внутри ствола скважины. На этапе (107) производится сопоставление результатов при помощи вычислительной компьютерной обработки имеющихся данных, которая включает в себя построение целевой функции, содержащей: групповые задержки или фазовые задержки, или разницу акустической энергии сигналов на акустических сенсорах или их сочетания. Аргументом этой функции является положение источника сигнала в стволе скважины. На этапе (108) определяются экстремумы целевой функции, которые и несут информацию о реальном положении источника или источников акустического сигнала в стволе скважины. На этапе (109) определяются координаты источника, соответствующее точке или точкам экстремума – глубины расположения от поверхности и

удаления от оси скважины. Для построения целевой функции могут быть использованы различные метрики такие как, например, L_1 , L_2 нормы, применен корреляционный анализ или другие методы.

[0056] В качестве примера целевой функции рассмотрим использование значений корреляционных функций теоритических и экспериментальных групповых задержек для локализации источника. Определим данную метрику следующим образом:

$$B(r_0, z_0) = \sum_i \int \tau_i^{model}(r_0, z - z_0) \tau_i^{emp}(z) dz,$$

где τ_i^{model} – групповые задержки на i -ом сенсоре, полученные путём моделирования, τ_i^{emp} - групповые задержки на i -ом сенсоре, полученные на эксперименте.

[0057] На Фиг. 4 полученные значения корреляционной функции для разных глубин и расстояний от оси скважины представлены в виде цветной панели. Максимум на этой панели соответствует наиболее вероятному положению источника шума в скважине, степень вероятности соответствует интенсивности пятна. Двумерное представление этой или аналогичных панелей, построенных с использованием других типов целевых функций, будем называть панелями локации. Спектральная панель и панель локации несут дополняющую друг друга информацию – по первой панели можно провести анализ спектрального состава существующего в скважине акустического сигнала, в то время как вторая панель позволяет установить местоположение источника этого сигнала.

[0058] В частном случае использования двух сенсоров определения положения источника акустического шума в скважине может производиться по данным, замеренным как минимум на двух глубинах. В качестве модельного примера рассмотрим один из способов определения положения источника в однородной среде. В этом случае для определения глубины и расстояния от оси скважины до источника шума необходимо получить два уравнения, связывающие два искомых параметра. Произведем регистрацию сигнала в двух положения относительно источника шума проиллюстрированных на Фиг.5.

[0059] В положении А (см. Фиг. 5) из физических соображений получаем выражение, связывающее расстояние до источника и временную задержку прихода сигнала между первым и вторым сенсорами:

$$A_1 S - S B_1 = c \Delta \tau_1, (10)$$

где A_1S -расстояние от источника до первого сенсора, SB_1 расстояние от источника до второго сенсора, c – скорость звука в среде, $\Delta\tau$ – временная задержка прихода сигнала между первым и вторым сенсорами.

[0060] Аналогично для измерений во втором положении прибора получаем выражение:

$$A_2S - SB_2 = c\Delta\tau_2, \quad (11)$$

где A_2S -расстояние от источника до первого сенсора, SB_2 расстояние от источника до второго сенсора, c – скорость звука в среде, $\Delta\tau$ – временная задержка прихода сигнала между первым и вторым сенсорами.

[0061] Уравнения (10) и (11) линейно независимы и содержат две неизвестные – координаты положения источника, которые могут быть найдены путем решения данной системы уравнений любым известным способом.

[0062] Пример. В описываемом примере исследование выполнялось в лабораторной нагнетательной скважине с песчаным коллектором при заранее известном положении источника акустического шума. В ходе эксперимента в качестве источника шума использовалось следующее сквозное нарушение во втором барьере на глубине 27 м и на расстоянии 17 см от оси скважины. Локация проводилась прибором, содержащим три сенсора. Замеры акустической эмиссии производились синхронно всеми сенсорами на стоянках при движении приборов вверх.

[0063] В результате проведенного исследования источник шума были определен на расстоянии 26.6-27.2 м от поверхности и 15.0-17.7 см от оси скважины, что демонстрирует высокую точность проведения локации описываемым методом.

[0064] Согласно Фиг. 7 вычислительное устройство (200), с помощью которого реализуется заявленный способ и система, в общем случае содержит такие элементы как: один более процессоров (201), оперативную память или ОЗУ (202), средство хранения данных (203), интерфейсы ввода/вывода (В/В) (204), устройства В/В (205), средства передачи данных (206). Элементы устройства (200) объединяются с помощью шины (210) для передачи сигналов и обеспечении работы устройства (200).

[0065] ОЗУ (202) предназначена для оперативного хранения машиночитаемых инструкций, исполняемых одним или более процессорами (201), которые позволяют осуществить ряд вычислительных операций на этапе акустического компьютерного моделирования для реализации способа (100).

[0066] Средство хранения данных (203) может представлять собой жесткий диск (HDD), твердотельный накопитель (SSD), флэш-память (NAND-flash, EEPROM, Secure Digital и т.п.), оптический диск (CD, DVD, Blue Ray), мини диск или их совокупности.

[0067] Интерфейсы В/В (204) представляют собой стандартные порты и средства сопряжения устройств и передачи данных, выбираемые исходя из необходимой конфигурации исполнения системы (200), в частности: USB (2.0, 3.0, USB-C, micro, mini), Ethernet, PCI, AGP, COM, LPT, PS/2, SATA, FireWire, Lightning и т.п.

[0068] Средства В/В (205) также выбираются из известного спектра различных устройств, например, клавиатура, тачпад, сенсорный дисплей, монитор, проектор, манипулятор мышь, джойстик, трекбол, световое перо, стилус, устройства вывода звука (колонки, наушники, встроенные динамики, зуммер) и т.п.

[0069] Средства передачи данных (206) выбираются из устройств, предназначенных для реализации процесса коммуникации между различными устройствами посредством проводной и/или беспроводной связи, в частности, таким устройствами могут быть: GSM модем, Wi-Fi приемопередатчик, Bluetooth или BLE модуль, NFC, Ethernet модуль и т.п.

[0070] Вычислительное устройство (200) может представлять собой компьютер, ноутбук, смартфон, планшет, мейнфрейм и т.п.

[0071] На Фиг. 7 представлен общий принцип работы заявленной системы, содержащей вычислительное устройство (200). Данные, полученные в ходе регистрации акустических сигналов внутри ствола скважины сохраняются в памяти сканирующего устройства или передаются на внешний блок памяти, например, посредством беспроводных или проводных каналов передачи данных.

[0072] Далее с помощью известных средств передачи информации, данные передаются на вычислительное устройство (200) для реализации этапов (106) – (109) заявленного способа (100).

[0073] Полученные данные сопоставления расчетов акустического моделирования и данные, полученные в ходе локации в стволе скважины, могут быть переданы на удаленный сервер (230) для хранения информации.

[0074] Вычислительное устройство (200) также может использоваться как облачное хранилище информации и являться сервером (230) к которому можно осуществлять обращение посредством сети «Интернет», например, посредством персональных вычислительных устройств, тонких клиентов и т.п.

[0075] Представленные в настоящих материалах заявки сведения раскрывают предпочтительные варианты его осуществления и не должны использоваться как ограничивающие иные, частые варианты его исполнения, не выходящие за объем испрашиваемой правовой охраны, которые являются очевидными для специалистов данной области техники.

ФОРМУЛА

1. Способ анализа скважины с помощью пассивного акустического каротажа, содержащий этапы, на которых:
 - выполняют компьютерное моделирование акустического поля в скважине, создаваемого по меньшей мере одним источником акустического сигнала в скважине;
 - производят регистрацию акустических сигналов внутри ствола скважины с помощью устройства регистрации акустических сигналов, содержащего по меньшей мере два акустических сенсора;
 - определяют положение упомянутого источника акустического сигнала в скважине на основании обработки данных компьютерного моделирования и данных, полученных в ходе регистрации акустических сигналов внутри ствола скважины с помощью упомянутого устройства.
2. Способ по п.1, характеризующийся тем, что положение источника акустического сигнала характеризуется глубиной от поверхности и расстоянием от оси скважины.
3. Способ по п.1, характеризующийся тем, что регистрация акустических сигналов внутри ствола скважины производится синхронно всеми сенсорами.
4. Способ по п.1, характеризующийся тем, что компьютерное моделирование создаваемого акустического поля выполняют с помощью акустического симулятора.
5. Способ по п.1, характеризующийся тем, что при использовании двух акустических сенсоров, регистрацию акустических сигналов в скважине выполняют на по меньшей мере двух глубинах.
6. Способ по п.1, характеризующийся тем, что в случае, азимутального распределения трёх и более акустических сенсоров в скважине, дополнительно определяют азимутальное направление на источник шума.
7. Способ по п.1, характеризующийся тем, что на этапе компьютерного моделирования выполняется расчет акустического поля от источника в скважине на различных расстояниях от упомянутого источника и при различных сдвигах источника по вертикали и радиальному удалению от ствола скважины.

8. Способ по п.7, характеризующийся тем, что расчет производится с учетом параметров конструкции скважины, представляющих собой по меньшей мере радиусы барьеров скважины.

9. Способ по п.7, характеризующийся тем, что дополнительно учитываются типы сред барьеров и/или окружающих их сред, и/или типы флюидов, заполняющих межтрубное пространство.

10. Способ по п.1, характеризующийся тем, что на этапе компьютерного моделирования и после регистрации акустических сигналов внутри ствола скважины с помощью устройства определяются групповые задержки и/или фазовые задержки, и/или разница акустической энергии сигналов на акустических сенсорах.

11. Способ по п.1, характеризующийся тем, что сопоставление результатов компьютерного моделирования и данных, полученных в ходе регистрации акустических сигналов внутри ствола скважины с помощью устройства, включает в себя построение целевой функции, включающей в себя групповые задержки и/или фазовые задержки, и/или разницу акустической энергии сигналов на акустических сенсорах, аргументом которой является положение источника в стволе скважины.

12. Способ по п.11, характеризующийся тем, что положение источника в стволе скважины определяется экстремумом целевой функции.

13. Система анализа скважины с помощью пассивного акустического каротажа, содержащая:

- устройство регистрации акустических сигналов внутри ствола скважины, содержащее по меньшей мере два акустических сенсора, выполненное с возможностью получения данных о по меньшей мере одном источнике акустического сигнала в скважине и передачи полученных данных в вычислительное устройство;

- вычислительное устройство, содержащее по меньшей мере один процессор и по меньшей мере одно средство памяти, содержащее машиночитаемые инструкции, которые при их выполнении по меньшей мере одним процессором осуществляют моделирование акустического поля в скважине, создаваемое по меньшей мере одним источником акустического сигнала в скважине;

причем

- вычислительное устройства выполнено с возможностью обработки данных, полученных в ходе компьютерного моделирования, и данных, полученных от устройства регистрации

акустических сигналов внутри ствола скважины, и определяет на основании упомянутой обработки положение упомянутого источника акустического сигнала.

14. Система по п.13, характеризующаяся тем, что вычислительное устройство выбирается из группы: компьютер, планшет, сервер или смартфон.

15. Система по п.13, характеризующаяся тем, что устройство регистрации акустических сигналов передает данные сканирования на вычислительное устройство по проводному или беспроводному каналу передачи данных.

16. Система по п.13, характеризующаяся тем, что определяемое положение источника акустического сигнала характеризуется глубиной от поверхности и расстоянием от оси скважины.

17. Система по п.13, характеризующаяся тем, что регистрация акустических сигналов внутри ствола скважины производится синхронно всеми сенсорами устройства регистрации акустических сигналов.

18. Система по п.13, характеризующаяся тем, что моделирование создаваемого акустического поля с помощью вычислительного устройства выполняют с помощью акустического симулятора.

19. Система по п.13, характеризующаяся тем, что при использовании двух акустических сенсоров, регистрацию акустических сигналов в скважине выполняют на по меньшей мере двух глубинах.

20. Система по п.13, характеризующаяся тем, что в случае, азимутального распределения трёх и более акустических сенсоров в скважине, дополнительно определяют азимутальное направление на источник шума.

21. Система по п.13, характеризующаяся тем, что при моделировании распространения акустического поля с помощью вычислительного устройства выполняется расчет акустического поля от источника в скважине на различных расстояниях от упомянутого источника и при различных сдвигах источника по вертикали и радиальному удалению от ствола скважины.

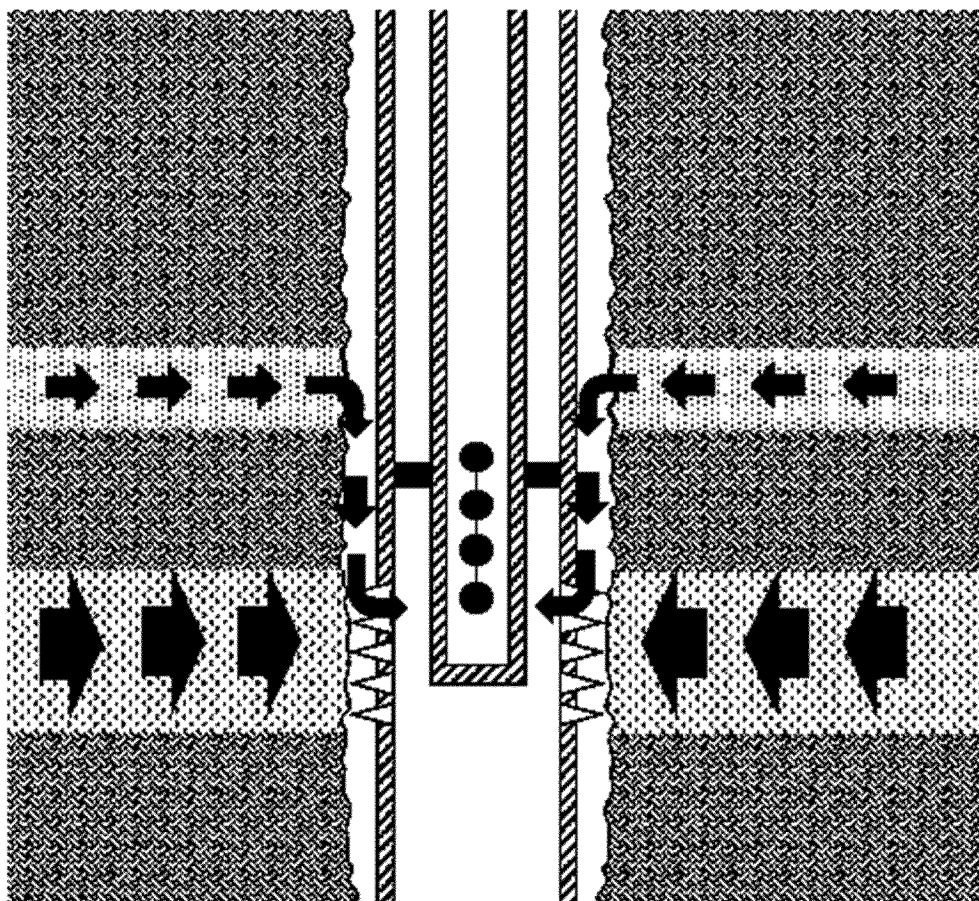
22. Система по п.21, характеризующаяся тем, что расчет производится с учетом параметров конструкции скважины, представляющих собой по меньшей мере радиусы барьеров скважины.

23. Система по п.21, характеризующаяся тем, что дополнительно учитываются типы сред барьеров и/или окружающих их сред, и/или типы флюидов, заполняющих межтрубное пространство.

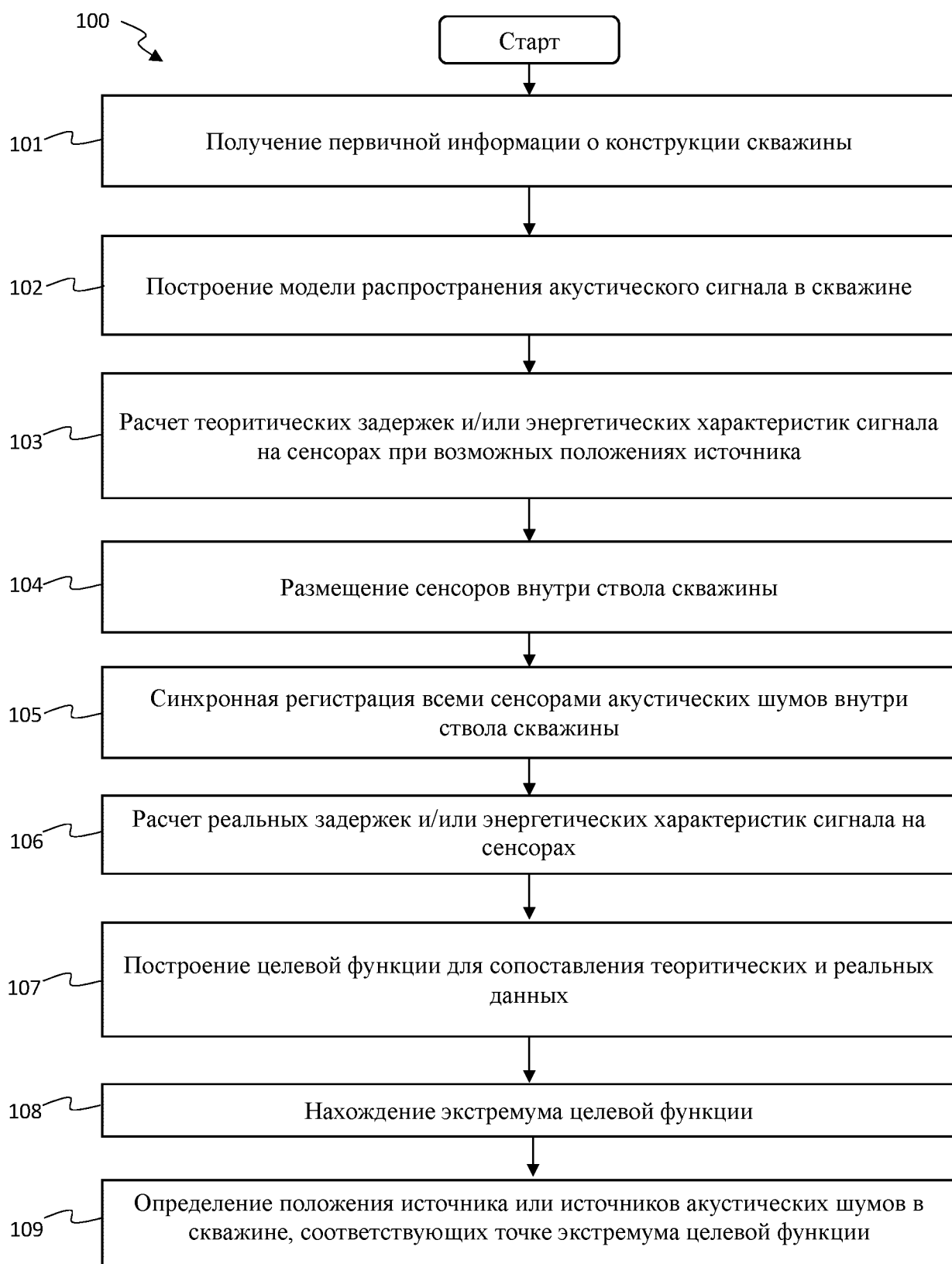
24. Система по п.13, характеризующаяся тем, что на этапе моделирования акустического поля с помощью вычислительного устройства и после регистрации акустических сигналов в скважине с помощью устройства регистрации акустических сигналов определяются групповые задержки и/или фазовые задержки, и/или разница акустической энергии сигналов на акустических сенсорах.

25. Система по п.13, характеризующаяся тем, что вычислительное устройство осуществляет сопоставление результатов моделирования и данных, полученных в ходе регистрации акустических сигналов внутри ствола скважины с помощью устройства регистрации акустических сигналов, с помощью построения целевой функции, включающей в себя групповые задержках и/или фазовые задержках, и/или разницу акустической энергии сигналов на акустических сенсорах, аргументом которой является положение источника в стволе скважины.

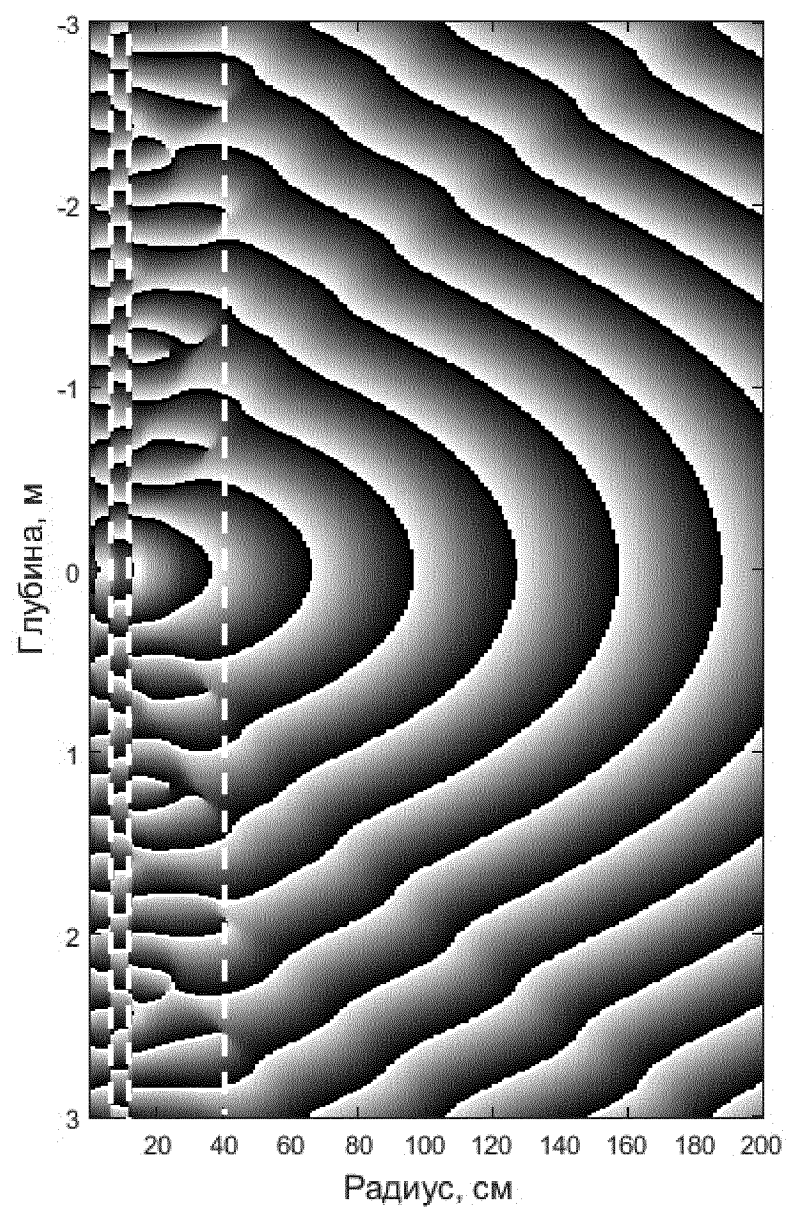
26. Система по п.25, характеризующаяся тем, что положение источника в стволе скважины определяется экстремумом целевой функции.



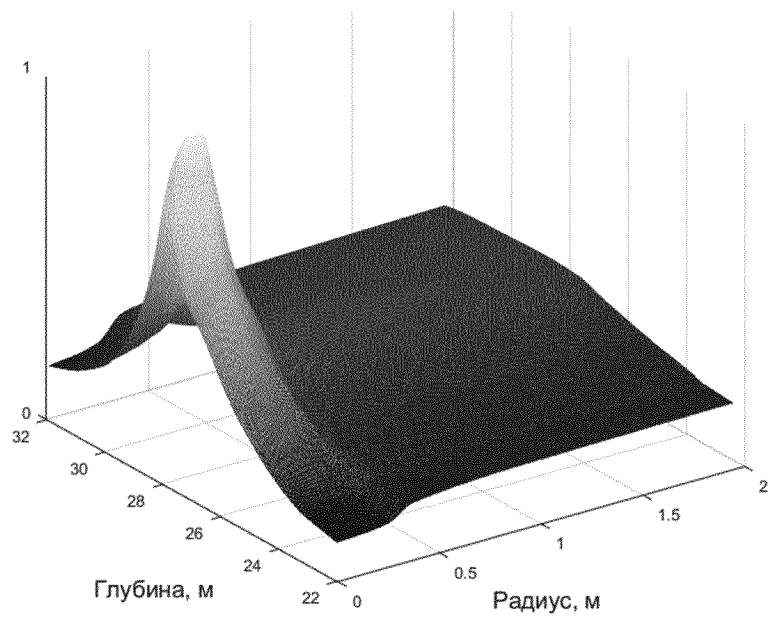
Фиг. 1



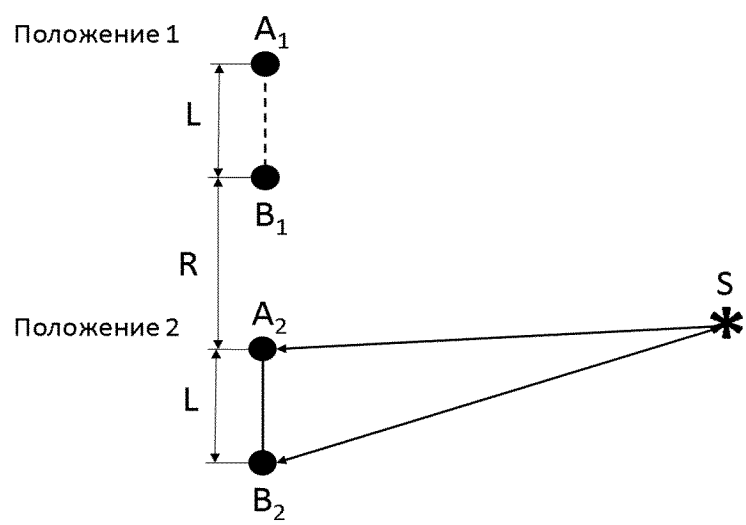
Фиг. 2



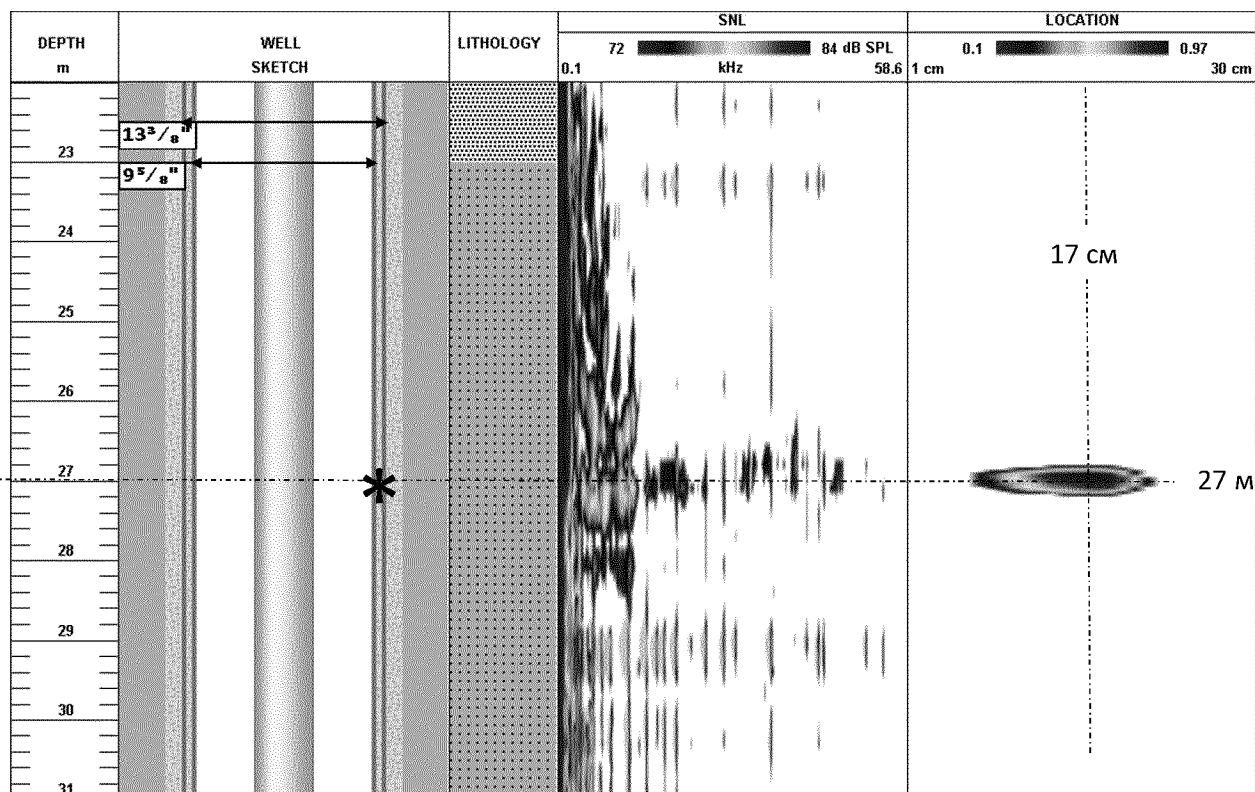
Фиг. 3



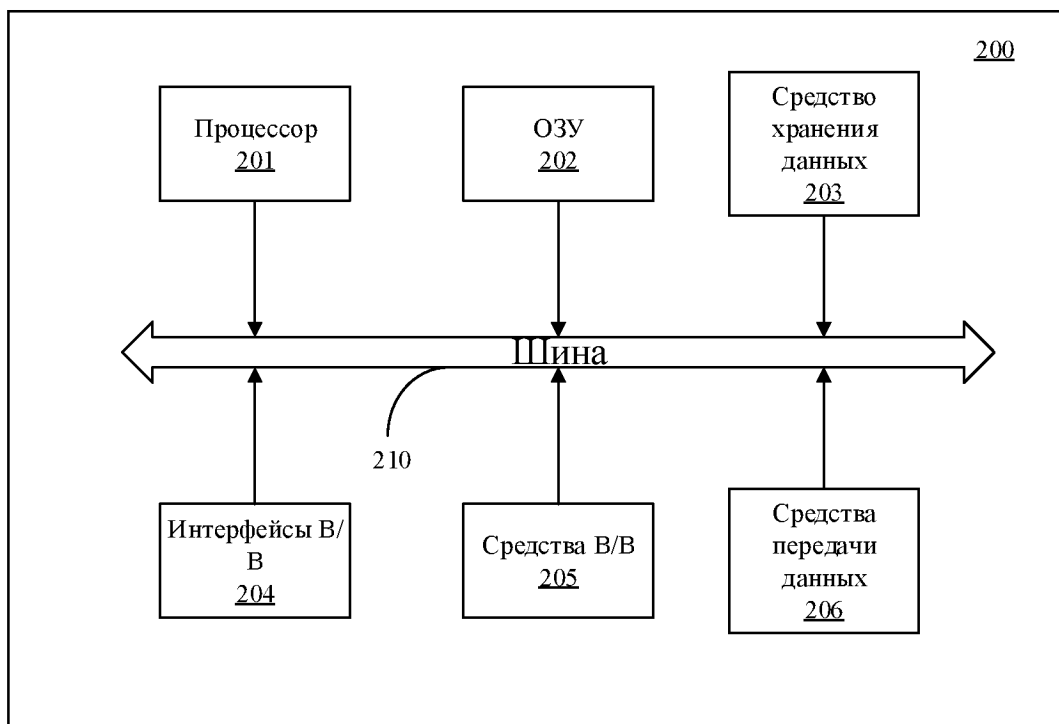
Фиг. 4



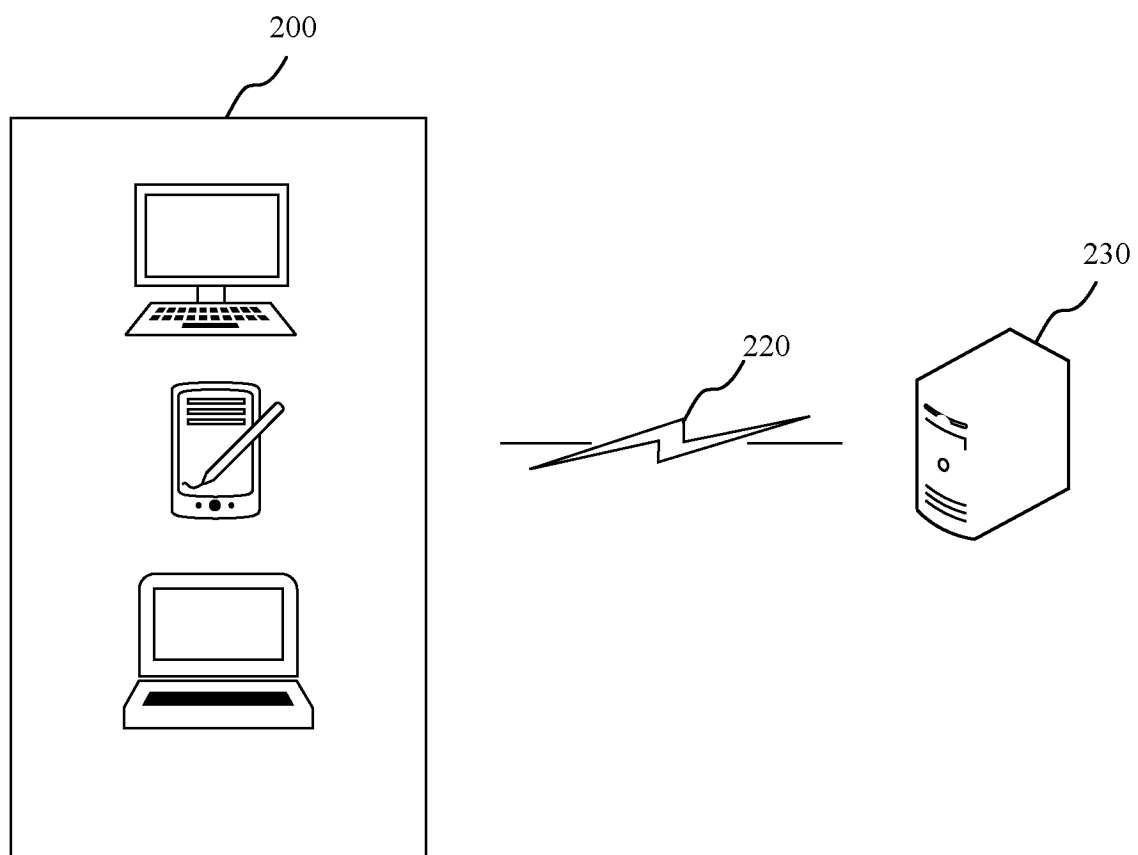
Фиг. 5



Фиг. 6



Фиг. 7



Фиг. 8

ЕВРАЗИЙСКОЕ ПАТЕНТНОЕ ВЕДОМСТВО

ОТЧЕТ О ПАТЕНТНОМ
ПОИСКЕ(статья 15(3) ЕАПК и правило 42
Патентной инструкции к ЕАПК)

Номер евразийской заявки:

201791837

Дата подачи: 13 сентября 2017 (13.09.2017) Дата испрашиваемого приоритета:

Название изобретения: Способ и система анализа скважины с помощью пассивного акустического каротажа

Заявитель: ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "СОНОГРАМ"

☐ Некоторые пункты формулы не подлежат поиску (см. раздел I дополнительного листа)☐ Единство изобретения не соблюдено (см. раздел II дополнительного листа)А. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ: E21B 47/107 (2006.01)
G01V 1/40 (2006.01)

Согласно Международной патентной классификации (МПК) или национальной классификации и МПК

Б. ОБЛАСТЬ ПОИСКА:

Минимум просмотренной документации (система классификации и индексы МПК)

E21B 47/00, 47/005, 47/007, 47/02, 47/022, 47/024, 47/026, 47/09, 47/095, 47/098, 47/10, 47/107, 47/12, 47/14,
G01V 1/00, 1/40-1/52

Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в область поиска:

В. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ

Категория*	Ссылки на документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	WO 2016/115012 A1 (HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC.) 21.07.2016, реферат, формула	1-26
A	RU 2505675 C1 (ШЛЮМБЕРЖЕ ТЕКНОЛОДЖИ Б.В.) 27.01.2014	1-26
A	EA 005692 B1 (ТЕРИДЖЕНТС ОФ ТЕ ЮНИВЕРСИТИ ОФ КАЛИФОРНИЯ) 28.04.2005	1-26
A	EA 007942 B1 (ВЕСТЕРНДЖЕКО САЙЗМИК ХОЛДИНГЗ ЛИМИТЕД) 27.02.2007	1-26
A	WO 2016/209388 A1 (HALLIBURTON ENERGY SERVICES, INC.) 29.12.2016	1-26

☐ последующие документы указаны в продолжении графы В☐ данные о патентах-аналогах указаны в приложении

* Особые категории ссылочных документов:

"А" документ, определяющий общий уровень техники

"Е" более ранний документ, но опубликованный на дату подачи евразийской заявки или после нее

"О" документ, относящийся к устному раскрытию, экспонированию и т.д.

"Р" документ, опубликованный до даты подачи евразийской заявки, но после даты испрашиваемого приоритета

"D" документ, приведенный в евразийской заявке

"I" более поздний документ, опубликованный после даты

приоритета и приведенный для понимания изобретения

"X" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий новизну или изобретательский уровень, взятый в отдельности

"Y" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска, порочащий изобретательский уровень в сочетании с другими документами той же категории

"&" документ, являющийся патентом-аналогом

"L" документ, приведенный в других целях

Дата действительного завершения патентного поиска: 01 февраля 2018 (01.02.2018)

Наименование и адрес Международного поискового органа:

Федеральный институт
промышленной собственностиРФ, 125993, Москва, Г-59, ГСП-3, Бережковская наб.,
д. 30-1. Факс: (499) 243-3337, телетайп: 114818 ПОДАЧА

Уполномоченное лицо:

Е.И. Евграфова

Телефон № (495) 531-6481