



(19) RU⁽¹¹⁾ 2 069 878⁽¹³⁾ C1

(51) МПК⁶ G 01 V 3/18

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 5033680/25, 10.02.1992

(46) Дата публикации: 27.11.1996

(56) Ссылки: Патент США N 3706025, кл. G 01 V 3/18, 1972. Патент США N 3982176, кл. G 01 V 3/10, 1976. Авторское свидетельство СССР N 648928, кл. G 01 V 3/26, 1979.

(71) Заявитель:

Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт геофизических методов исследований, испытаний и контроля нефтегазоразведочных скважин

(72) Изобретатель: Вержбицкий В.В., Кузьмичев О.Б.

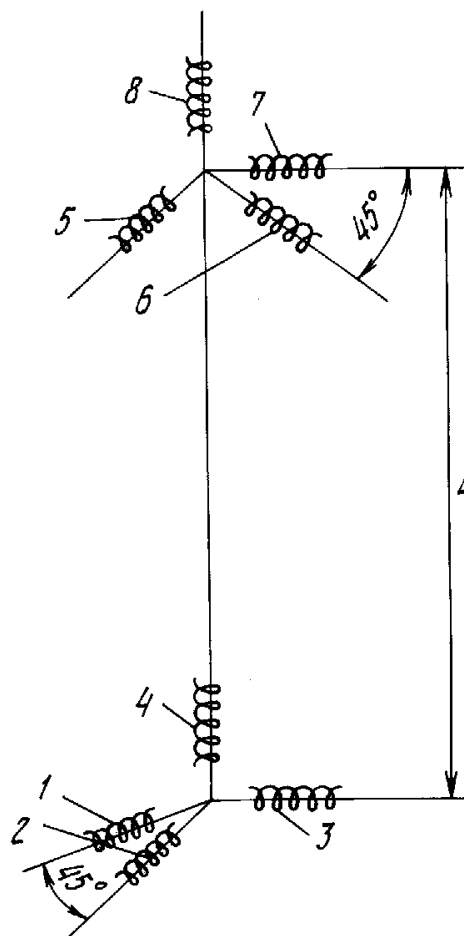
(73) Патентообладатель:

Кузьмичев Олег Борисович, Вержбицкий Виктор Владимирович

(54) СПОСОБ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КАРОТАЖА СКВАЖИН

(57) Реферат:

Использование: при определении электрических параметров трещинных коллекторов и ориентации горизонтальной оси электрической анизотропии относительно сторон света. Сущность изобретения: в способе электромагнитного каротажа дополнительно возбуждают электромагнитное поле вдоль оси скважины и в горизонтальной плоскости под углом 45 град. к одному из направлений возбуждаемого поля. Измеряют напряженность магнитного поля в направлениях вдоль оси скважины, совпадающих с направлениями каждого из возбуждаемых взаимно перпендикулярных полей и в каждом из двух направлений, перпендикулярных возбуждаемым полям и сдвинутым на 45 град. 1 ил.





(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 069 878** ⁽¹³⁾ **C1**
(51) Int. Cl.⁶ **G 01 V 3/18**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 5033680/25, 10.02.1992

(46) Date of publication: 27.11.1996

(71) Applicant:
Vsesojuznyj nauchno-issledovatel'skij i
proektno-konstruktorskij institut
geofizicheskikh metodov issledovanij,
ispytanij i kontrolja neftegazorazvedochnykh
skvazhin

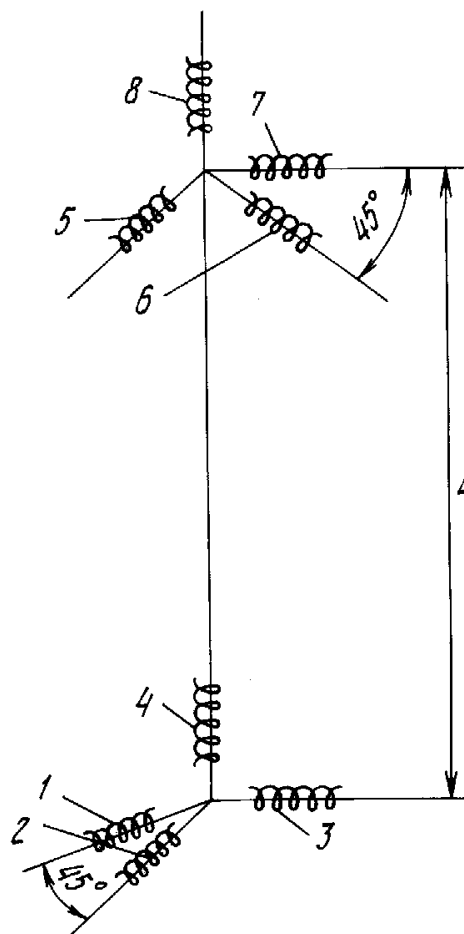
(72) Inventor: Verzhbitskij V.V.,
Kuz'michev O.B.

(73) Proprietor:
Kuz'michev Oleg Borisovich,
Verzhbitskij Viktor Vladimirovich

(54) **PROCESS OF ELECTROMAGNETIC LOGGING OF HOLES**

(57) Abstract:

FIELD: mineralogy. SUBSTANCE: process is meant for determination of electric parameters of crack collectors and for orientation of horizontal axis of electric anisotropy relative to cardinal points. In accordance with method of electromagnetic logging electromagnetic field is additionally excited along axis of hole and in horizontal plane at angle of 45 deg to one of directions of excited field. Intensity of magnetic field is measured in directions along axis of hole coinciding with directions of each of excited mutually perpendicular field and in each of two directions perpendicular to excited fields and shifted through 45 deg. EFFECT: improved operational reliability of process. 1 dwg



RU 2 069 878 C1

RU 2 069 878 C1

Изобретение относится к промышленной геофизике, к электромагнитному каротажу и может использоваться для определения электрических параметров трещинных коллекторов и ориентации горизонтальной оси электрической анизотропии относительно сторон света.

Известен способ электромагнитного каротажа, который основан на возбуждении в скважине с помощью передающей вертикальной катушки электромагнитного поля и измерении с помощью вертикальной приемной катушки реактивной и активной составляющих напряженности магнитного поля [1]

Известен также способ, представляющий собой комплекс диэлектрического и индукционного каротажа [2]. Комплексование измерений в этом способе достигается путем изменения частоты возбуждающего поля от низкой частоты для индукционного каротажа до высокой для диэлектрического.

Эти способы не позволяют однозначно определить величины удельной электрической проводимости σ_t и коэффициента электрической анизотропии λ коллектора, пересекаемого системой вертикальных трещин, так как измеряемый сигнал пропорционален комбинации этих величин, а именно s_t/λ . Определение направления горизонтальной оси анизотропии этими способами в принципе невозможно.

В тоже время известен способ электромагнитного каротажа, который основан на возбуждении с помощью пары горизонтальных взаимно перпендикулярных генераторных катушек в породе гармонического высокочастотного электромагнитного поля, результирующий вектор которого вращается с некоторой частотой в горизонтальной плоскости, не меняя величины своей амплитуды, и измерении с помощью системы двух пар взаимно перпендикулярных горизонтальных измерительных катушек затухания этого поля между точками расположения пар путем деления величины напряженности в этих точках. Изменение величины затухания в зависимости от ориентации возбуждаемого поля позволяет выделять породы с азимутально-неоднородным распределением удельного электрического сопротивления, например трещинные коллекторы.

Однако при высоких удельных сопротивлениях, которыми, как правило, характеризуются трещинные коллекторы, этот метод не позволяет отличить породы с системой вертикальных трещин, например, от пород с наклонной трещиноватостью, так как зависимость затухания от ориентации трещин существенно ослабляется. Неясно также, как по результатам измерений определять величины электрических параметров коллектора и ориентацию оси анизотропии в пространстве. Кроме того, возбуждение и регистрация вращающегося поля усложняет конструкцию устройства и накладывает ограничения на скорость проведения каротажа.

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому изобретению является способ, заключающийся в возбуждении электромагнитного поля в двух

взаимно перпендикулярных азимутах, измерении затухания горизонтальной составляющей магнитного поля, сравнении результатов измерения и определении азимутальной неоднородности среды по расхождению показаний [3]

Недостатком этого способа является невысокая достоверность выделения азимутально-неоднородных сред, в том числе трещинных коллекторов, так как возможны случаи, когда показания зондов равны при наличии трещиноватости пород. Азимутальная неоднородность трещиноватых пород проявляется как анизотропия их электрического сопротивления. Если в породе существует основная система трещин, ориентированных в одном направлении, то сопротивление в направлениях, параллельных плоскостям трещин, отличается от сопротивления в направлении, перпендикулярном этим плоскостям. Последнее направление называется осью анизотропии. В случае системы вертикальных трещин, который является наиболее вероятным из-за разницы между вертикальным и боковым горным давлением, ось анизотропии горизонтальна и в случае, когда угол между осью анизотропии и каждым из зондов составляет 45° показания зондов будут равны. Кроме того, используя известные значения потенциалов нетрудно получить выражение для напряженности магнитного поля H в точке расположения одной из измерительных катушек

$$H = H_c + H_a \cos 2\beta,$$

где H_c составляющая магнитного поля, не зависящая от ориентации зонда; H_a составляющая магнитного поля, соответствующая максимальному влиянию анизотропии на показания зонда, β угол между направлением возбуждения поля и осью анизотропии.

При высоких сопротивлениях разреза, характерных для трещиноватых пород $H_c \sim (L/\delta)^2$, а $H_a \sim (L/\delta)^3$, где L длина зонда, толщина скин-слоя в

$$\delta = \sqrt{\frac{2\rho_t}{\omega\mu}}$$

исследуемой породе, ω циклическая частота поля, μ магнитная проницаемость породы, ρ_t удельное электрическое сопротивление породы в плоскости трещин. В этом случае $L/\delta \ll 1$ и, следовательно, $H_a < H_c$, т.е. поля, регистрируемые двумя взаимно перпендикулярными зондами или затухания этих полей слабо отличаются друг от друга. В то же время для определения этим методом электрических параметров пород, пересеченных вертикальными трещинами, и установления ориентации оси анизотропии в пространстве не хватает информации.

Цель изобретения расширение функциональных возможностей определения удельной электрической проводимости σ_t вдоль простирания трещин, коэффициента электрической анизотропии λ и установление ориентации оси анизотропии в плоскости напластования.

Поставленная цель достигается тем, что в способе электромагнитного каротажа, основанном на возбуждении электромагнитного поля в двух взаимно перпендикулярных азимутах, регистрации с

удалением по оси скважины компонент магнитного поля и суждении на основе измерений об азимутальной неоднородности дополнительно возбуждают электромагнитное поле вдоль оси скважины и в горизонтальной плоскости под углом 45° к одному из направлений возбуждаемого поля и измеряют напряженность магнитного поля в направлениях каждого из возбуждаемых взаимно перпендикулярных полей и в каждом из двух направлений, перпендикулярных возбуждаемым полям и сдвинутым на 45° и по измеренным величинам находят удельную электрическую проводимость, коэффициент анизотропии, и угол, определяющий положение горизонтальной оси анизотропии удельной электрической проводимости.

Заявляемый способ отличается от прототипа тем, что третью генераторную катушку располагают в горизонтальной плоскости под углом 45° к одной из двух генераторных катушек, измеряют напряженности магнитного поля в двух направлениях, перпендикулярных возбуждаемому полю и сдвинутых на угол 45°, дополнительно возбуждают электромагнитное поле в направлении, перпендикулярном к осям горизонтальных катушек и измеряют в этом же направлении активную или реактивную составляющую напряженности магнитного поля и по измеренным величинам определяют электрические параметры пласта и ориентацию горизонтальной оси анизотропии относительно сторон света. Таким образом заявляемый способ соответствует критерию изобретения "новизна". Признаки, отличающие заявляемый способ от прототипа, не выявлены в других технических решениях при изучении данной области техники и, следовательно, обеспечивают заявляемому способу соответствие критерию "существенные отличия".

На чертеже 1 показана схема расположения катушек скважинного прибора, с помощью которого осуществляется предлагаемый способ.

Скважинный прибор содержит генераторные катушки 1,2,3,4 и приемные катушки 5,6,7,8. Оси катушек 1 и 6 перпендикулярны между собой и повернуты как целое на угол 45° относительно системы взаимно перпендикулярных катушек 2 и 7. Катушки 2 и 3, 5 и 7 перпендикулярны друг к другу. Оси катушек 4 и 8 лежат на прямой перпендикулярной плоскости, на которой лежат оси катушек 1,2,3. На генераторные катушки 1,2,3,4 поочередно подают электрический ток частотой 50 кГц при расстоянии между приемными и генераторными катушками равном L 1 м.

При этом измеряют напряженность магнитного поля:

- приемной катушкой 6 магнитное поле, возбуждаемое генераторной катушкой 1;
- приемной катушкой 5 магнитное поле, возбуждаемое катушкой 2;
- приемной катушкой 7 магнитное поле, возбуждаемое катушкой 3;
- приемной катушкой 7 магнитное поле, возбуждаемое катушкой 2;
- приемной катушкой 8 магнитное поле, возбуждаемое катушкой 4.

Для того, чтобы определить ориентацию горизонтальной оси анизотропии, необходимо

сопряжение предложенного выше устройства с инклинометром, тогда угол α между горизонтальной осью анизотропии и направлением на север будет равен

$$\alpha = \beta + \gamma,$$

где β угол между осью приемной катушки 7 и горизонтальной осью анизотропии;

γ угол между осью приемной катушки 7 и направлением на север.

Суть заявляемого способа заключается в следующем.

Известно, что величина напряженности магнитного поля, возбуждаемого в горизонтальном направлении, но измеряемая в горизонтальном направлении перпендикулярном направлению возбуждаемого поля равна /6/

$$H_1 = H_y \sin 2\beta. (1)$$

Если же магнитное поле возбуждается в горизонтальном направлении под углом 45° к предыдущему, то величина напряженности магнитного поля, измеряемая в направлении перпендикулярном направлению возбуждения поля, равна

$$H_2 = -H_y \cos 2\beta. (2)$$

Напряженность магнитного поля, измеряемая в направлении совпадающем с направлением возбуждения магнитного поля, равна

$$H_3 = H_c + H_y \cos 2\beta. (3)$$

Напряженность магнитного поля, измеряемая в направлении, совпадающем с направлением возбуждения магнитного поля, перпендикулярном направлению возбуждения поля для H_3 , равна

$$H_4 = H_c - H_y \cos 2\beta. (4)$$

Здесь H_c составляющая магнитного поля, не зависящая от направления измерения, H_y составляющая напряженности магнитного поля, соответствующая максимальному влиянию анизотропии на показания зонда, β - угол между направлением регистрации поля и осью анизотропии.

При решении обратной задачи относительно угла β необходимо избавиться от удвоенного угла β , т.к. удвоение угла вносит неоднозначность в решение обратной задачи. Тогда решение системы (1), (2) будет представляться в виде

$$\beta = \arctg \left(\frac{H_2}{H_1} + \sqrt{\left(\frac{H_2}{H_1}\right)^2 + 1} \right) \text{ при } 0 < \beta < \frac{\pi}{2}, (5a)$$

$$\beta = \arctg \left(\frac{H_2}{H_1} - \sqrt{\left(\frac{H_2}{H_1}\right)^2 + 1} \right) \text{ при } -\frac{\pi}{2} < \beta < 0, (5b)$$

Рассмотрим сечение скважины горизонтальной плоскостью. Совместим ось X с осью одной из приемных катушек (на чертеже изображена стрелкой). Угол β - это угол между осью X и горизонтальной осью анизотропии I. Оси координат OX и OY делят сечение скважины на четыре квадранта I, II, III и IV (см. рис.1). Горизонтальная ось анизотропии I имеет четыре возможных положения, для которых мы можем определить значение угла β :

ось анизотропии I пересекает I и III квадранты, тогда величину угла β рассчитываем по формуле (5a);

ось анизотропии I пересекает II и IV квадранты, тогда величина угла β определяется по формуле (5б);

ось анизотропии I совпадает с осью OX, тогда

$$H_3 - H_4 - 2H_2 = 0 \text{ и } b = 0;$$

ось анизотропии I совпадает с осью OY, тогда

$$H_3 - H_4 + 2H_2 = 0 \text{ и } b = 90^\circ.$$

Для того, чтобы определить знак угла β , необходимо знать удельную электрическую проводимость σ_t в плоскости простираия трещин и величину коэффициента анизотропии λ . Существует возможность непосредственной оценки величины σ_t . Из выражений (1) (4) в приближении малого параметра можно получить

$$\sigma_t = \frac{z}{\omega \mu L^2} \left(H_3 + H_4 + \sqrt{(H_3 - H_4)^2 + 4H_1^2} \right),$$

где $\omega = 2\pi f$ циклическая частота электромагнитного поля,

μ магнитная проницаемость среды, обычно принимаемая равной $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м,

L расстояние от генераторной катушки до приемной.

Для определения величины коэффициента анизотропии λ дополнительно возбуждаем магнитное поле вдоль оси скважины и на расстоянии L от точки возбуждения поля измеряем напряженность магнитного поля H_5 в том же направлении, тогда

$$\lambda = \frac{\omega \mu L^2}{z} \cdot \frac{\sigma_t}{H_5}.$$

Подставляя найденные значения σ_t и λ в выражение для H_y

$$H_y = \frac{K}{4} \left[e^{K(1-K)z} - e^{-K/\lambda(1-K/\lambda)z} \right],$$

где $K = (1-i)P_t$, длина

$$P_t = \sqrt{\frac{\omega \mu \sigma_t}{z}} \cdot L$$

зонда, нормированная на толщину скин-слоя, и, находя отношение H_1/H_y , определяем знак угла β :

$$1) \text{ если } \frac{H_1}{H_y} < 0, \text{ то } \beta < 0;$$

$$2) \text{ если } \frac{H_1}{H_y} > 0, \text{ то } \beta > 0.$$

Использование предлагаемого способа электромагнитного каротажа обеспечивает по сравнению с прототипом возможность количественного анализа электрических параметров трещинных коллекторов и позволяет судить о местоположении системы вертикальных трещин в коллекторе относительно сторон света.

Формула изобретения:

Способ электромагнитного каротажа скважины, включающий возбуждение

электромагнитного поля в горизонтальной плоскости в двух взаимно перпендикулярных азимутах, регистрацию с удалением по оси скважины компонент магнитного поля каждой из генераторных катушек и суждение на основе измерений об азимутальной неоднородности среды, отличающийся тем, что дополнительно возбуждают электромагнитное поле вдоль оси скважины и в горизонтальной плоскости под углом 45° к одному из направлений возбуждаемого поля и измеряют напряженность магнитного поля вдоль оси скважины в направлениях, совпадающих с направлениями каждого из возбуждаемых взаимно перпендикулярных полей, и в каждом из двух направлений, перпендикулярных возбуждаемым полям и сдвинутых на 45° , а об азимутальной неоднородности среды судят по удельной электрической проводимости σ_t , коэффициенту анизотропии λ и углу β , определяющему положение горизонтальной оси анизотропии удельной электрической проводимости, согласно формулам

$$\sigma_t = \frac{z}{\omega \mu L^2} \left(H_3 + H_4 + \sqrt{(H_3 - H_4)^2 + 4H_1^2} \right),$$

$$\lambda = 0,5 \omega \mu L^2 \sigma_t / H_5,$$

$$\beta = \arctg \left(\frac{H_2}{H_1} - \sqrt{\left(\frac{H_2}{H_1} \right)^2 + 1} \right) \text{ если } \beta < 0;$$

$$\beta = \arctg \left(\frac{H_2}{H_1} - \sqrt{\left(\frac{H_2}{H_1} \right)^2 + 1} \right) \text{ если } \beta > 0,$$

где H_1 активная или реактивная составляющая напряженности магнитного поля, измеряемая в направлении, перпендикулярном оси одной из генераторных катушек;

H_2 активная или реактивная составляющая напряженности магнитного поля, измеряемая в направлении, перпендикулярном оси генераторной и сдвинутом на угол 45° относительно предыдущего направления;

H_3 активная или реактивная составляющая напряженности магнитного поля, измеряемая в направлении, совпадающем с направлением возбуждения магнитного поля;

H_4 активная или реактивная составляющая напряженности магнитного поля, измеряемая в направлении, совпадающем с направлением возбуждения магнитного поля, измеренная в направлении, совпадающем с направлением возбуждения магнитного поля, перпендикулярном направлению возбуждения для H_3 ;

H_5 активная или реактивная составляющая напряженности магнитного поля, измеряемая в направлении, совпадающем с направлением возбуждения магнитного поля вдоль оси скважины.