



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(51) МПК
G01V 3/06 (2006.01)
G01V 3/15 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008150604/28, 22.12.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
22.12.2008

(45) Опубликовано: 10.02.2010 Бюл. № 4

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: RU 2284555 C1, 27.09.2006. RU 2301431 C2, 20.06.2007. US 4617518, 14.10.1986. US 7126338 B2, 24.10.2006.

Адрес для переписки:
121353, Москва, ул. Беловежская, 95, кв.124,
Е.Н. Рыхлинской

(72) Автор(ы):

**Рыхлинская Екатерина Николаевна (RU),
Давыдычева Софья Николаевна (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

Рыхлинская Екатерина Николаевна (RU)

(54) СПОСОБ МОРСКОЙ ГЕОЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ С ФОКУСИРОВКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

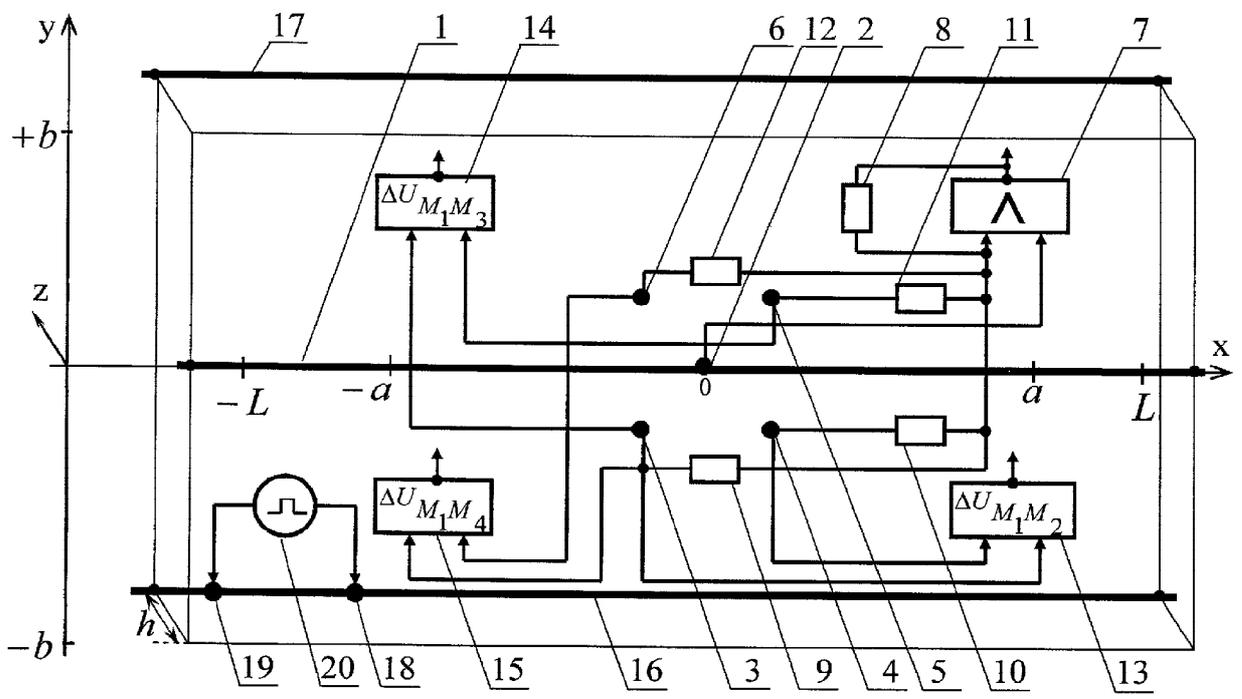
(57) Реферат:

Изобретение относится к морской геоэлектроразведке с использованием контролируемых искусственных источников электромагнитного поля. Сущность: при помощи дипольного источника возбуждают электромагнитное поле в толще исследуемой среды, посылая в нее прямоугольные импульсы тока с паузами между ними. В течение импульса тока вдоль профиля проводят геометрическое зондирование, в течение паузы - зондирование на переходных процессах. Измерения проводят при помощи зафиксированной на морском дне измерительной установки, состоящей из пяти электродов: центрального и расположенных вокруг него четырех по вершинам квадрата, две противоположные стороны которого параллельны оси профиля. В период пропускания тока и в паузах между импульсами тока измеряют вторую разность электрических потенциалов между внешними электродами и центральным, а также первые разности электрических потенциалов между тремя парами внешних электродов. При прохождении дипольного источника через

разные точки обеспечивают эквипотенциальность замкнутой линии, проходящей через четыре внешних электрода измерительной установки и, тем самым, исключают внутри этой линии горизонтальную составляющую плотности тока в каждой точке зондирования. Из значений измеренных разностей электрических потенциалов рассчитывают три множества нормированных интерпретируемых электрических параметров, которые не подвержены боковому влиянию трехмерных геологических неоднородностей, находящихся вне точки зондирования. С использованием полученных параметров находят модель среды и строят временные разрезы этой модели по электропроводности элементов среды, коэффициенту вызванной поляризации и постоянной времени спада разности потенциалов вызванной поляризации. Технический результат: исключение искажающего бокового влияния на результаты зондирования, позволяющее при больших глубинах моря находить и с высокой контрастностью оконтуривать скопления углеводородов. 3 з.п. ф-лы, 6 ил.

RU 2 381 531 C1

RU 2 381 531 C1



Фиг. 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.
G01V 3/06 (2006.01)
G01V 3/15 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: 2008150604/28, 22.12.2008

(24) Effective date for property rights:
22.12.2008

(45) Date of publication: 10.02.2010 Bull. 4

Mail address:

121353, Moskva, ul. Belovezhskaja, 95, kv.124,
E.N. Rykhlinsoj

(72) Inventor(s):

Rykhlinckaja Ekaterina Nikolaevna (RU),
Davydycheva Sof'ja Nikolaevna (RU)

(73) Proprietor(s):

Rykhlinckaja Ekaterina Nikolaevna (RU)

(54) METHOD FOR MARINE GEOELECTRICAL EXPLORATION WITH ELECTRICAL CURRENT FOCUSING

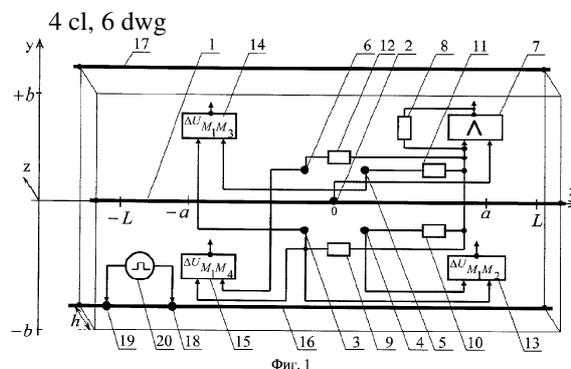
(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention relates to marine geoelectrical exploration using controlled artificial sources of electromagnetic field. Using a dipole source, an electromagnetic field is generated inside the analysed medium by sending rectangular electric pulses with intervals in between into the medium. Geometrical probing is done along the profile during the current pulse, and probing on transient processes is done during the interval. Measurements are taken using measuring apparatus mounted on the seafloor, consisting of five electrodes: a central electrode with four others around it on corners of a square, two opposite sides of which are parallel to the axis of the profile. During the current flow period and intervals between current pulses, the second electric potential difference between external electrodes and the central electrode, as well as the first electric potential differences between three pairs of external electrodes is measured. When the dipole source passes through different points, there is provision for equipotentiality of a closed line passing through four external electrodes of the measuring apparatus thereby eliminating the horizontal component of current density in each

probing point inside this line. Values of the measured electric potential differences are used to calculate three sets of standard interpreted electrical parametres which are not subject to lateral effect of three-dimensional geological non-uniformities located outside the probing point. Using the derived parametres, the model of the medium is found and time sections of this model is constructed on electroconductivity of elements of the medium, induced polarisation coefficient and decay time constant of induced polarisation potential differences.

EFFECT: elimination of distorting lateral effect on probing results, which allows for deep sea delineation of hydrocarbon accumulation with high contrast.



RU 2 381 531 C1

RU 2 381 531 C1

Изобретение относится к области геофизических исследований, а более конкретно - к способам морской геоэлектроразведки с использованием контролируемых искусственных источников электромагнитного поля, и предназначено для поисков и оконтуривания скоплений углеводородов (УВ) на континентальном шельфе на основе фокусировки электрического тока и отдельного определения и картирования свойственных каждому из элементов (горизонтов) толщи осадочных отложений горных пород и обладающих аномальными значениями в зонах скопления УВ следующих трех, необходимых для решения поставленной задачи, электрофизических параметров: удельной электропроводности, вызванной поляризации и постоянной времени спада разности потенциалов вызванной поляризации. В совокупности эти три электрофизических параметра позволяют отличить залежь УВ от вмещающих пород.

Способы геоэлектроразведки, в том числе и морской, с контролируемым возбуждением исследуемой среды электрическим током известны (методы сопротивлений на постоянном и переменном токе, в том числе на переходных процессах, на основе дипольно-осевой установки АВМН). Но они предназначены для определения только одного электрофизического параметра из перечисленных выше трех, а именно кажущегося электрического сопротивления, и не конкретного желаемого участка исследуемого пространства, а всего пространства, куда проникает распространяющийся по закону диффузии электрический ток источника. Этого далеко недостаточно для поисков и оконтуривания ныне предлагаемых для геологической разведки скоплений УВ, залегающих на глубине свыше 1000 м ниже уровня морского дна.

Отметим, что, согласно теории и практики геоэлектроразведки на основе дипольно-осевой установки АВМН, можно выделить на глубинах в пределах около 1000 м (но не оконтурить) высококонтрастные залежи УВ (толщиной не менее 50-100 м и с электрическим сопротивлением, превышающим сопротивление окружающих пород в 50 и более раз). Но такие залежи встречаются редко и к настоящему времени в большинстве своем уже разведаны.

Попытки зондирования на основе дипольно-осевой установки АВМН с контролируемым возбуждением тока с целью поисков скоплений УВ за последние 90 лет многократно предпринимались в различных вариантах, но из-за их низкой эффективности для поисков скоплений УВ не нашли широкого применения. Дипольное электрическое зондирование обладает высоким разрешением на глубинах до 500 м и на практике успешно используется для поисков залегающих воды и руд, а также в инженерных изысканиях и археологии.

По результатам зондирования на основе дипольно-осевой установки АВМН с контролируемым возбуждением тока вычисляется кажущееся электрическое сопротивление ρ с помощью универсальной формулы

$$\rho = K \cdot \Delta U / I, \quad (1)$$

где

I - измеряемый скачок силы тока в дипольном электрическом источнике;
 ΔU - измеряемая разность потенциалов на концах приемных электродов MN;
 K - геометрический коэффициент зондирующей установки. (Электроразведка, Справочник геофизика. Ред. А.Г.Тархов. М., Недра, 1980, с.237 и с.422-406)[1].

При таком подходе, который применяется обычно при всех традиционных способах определения электрического сопротивления в геоэлектроразведке с контролируемым источником тока, вследствие распространения тока по закону диффузии, получают лишь суммарные сведения о всех элементах строения

исследуемой среды, в которой развивается электрическое поле, так как в ней распределение в пространстве измеряемого тока / источника ничем не контролируется. И информации об этом распределении в реально существующих трехмерно-неоднородных средах нет.

В числе этих способов сопротивлений в морской геоэлектроразведке используется донное геометрическое зондирование низкочастотным переменным током на основе дипольно-осевой установки ABMN названное Норвежской компанией EMGS «(SBL - sea bed logging)» (S.E.Johansen, H.E.F.Amundsen, T.Rosten, S.Ellingsrud, T.Eidesmo and A.H.Bhuyian. Subsurface hydrocarbons detected by electromagnetic sounding. First Break, 23, March 2005, 31-36)[2]. Он также известен под названием «controlled source electromagnetic sounding (CSEM)» или «offshore hydrocarbons mapping (OHM)».

В публикации [2] описано донное профилирование установкой SBL с разномом 6,5 км между AB и MN через одно из крупнейших в мире морское газовое месторождение «Troll West Gas Province (TWGP)». Месторождение залегает на глубине примерно от 1070 м до 1230 м относительно поверхности морского дна и простирается по профилю от 10,5 км до 17,5 км (средняя глубина моря - 330 м). Оно отличается аномально высоким электрическим сопротивлением (250-1000 Ом·м) по сравнению с сопротивлением вмещающих пород (1-2 Ом·м) и большой толщиной -160 м. (Отметим, что подавляющее большинство залежей УВ обладает электрическим сопротивлением, величина которого по сравнению с сопротивлением законтурных отложений отличается в пределах от пяти до тридцати раз, а их толщины находятся в пределах от нескольких метров до нескольких десятков метров.)

Тем не менее, из описания [2] и приложенных в нем рисунков следует, что кривая профилирования способом SBL искажается влиянием этого геометрически крупного и высококонтрастного по электрическому сопротивлению месторождения уже на шестом километре при подходе к нему измерительной установки. А находящиеся справа от него четыре структуры между 17,5 км и 24 км задавлены его боковым влиянием, и задача определения наличия или отсутствия в них углеводородов не решается. О выделении границ контура залежей здесь говорить не приходится, так как переход от законтурной зоны до основной залежи на кривой сопротивлений (реально измеренной и теоретической) растягивается более чем на 3 км. Для такой яркой залежи УВ по ее геометрическим и электрофизическим параметрам это крайне скудная информация.

Кроме того, при малых глубинах моря способ CSEM (OHM, SBL) не дает даже такой скудной информации о залежи УВ.

Таким образом, способы сопротивлений, в том числе и геометрическое зондирование без фокусировки электрического тока, малопригодны для поисков и оконтуривания большинства встречающихся в геологических недрах залежей УВ на глубинах свыше 1000 м относительно уровня морского дна, по крайней мере, по трем причинам: первая - регистрируется только один из необходимых для этой цели трех электрофизических параметров исследуемой среды (кажущееся сопротивление), что далеко не всегда достаточно для выявления скоплений углеводородов в толще геологических пород; вторая - регистрируемый параметр (кажущееся сопротивление) для той же цели слишком грубый, так как им из-за отсутствия вертикальной фокусировки электрического тока регистрируется сопротивление объема всех геологических объектов исследуемой среды, в которой развивается электрическое поле источника тока, то есть результаты измерений существенно искажены влиянием боковых геологических неоднородностей; третья - не регистрируется параметр

вызванной поляризации η , обладающий также наряду с электрическим сопротивлением аномальным значением в зоне скоплений УВ.

В геоэлектроразведке влияние боковых геологических неоднородностей называют боковым влиянием, которое при поисках скоплений углеводородов на глубинах их залегания свыше одного километра сказывается на результатах измерений по латерали за несколько километров от точки зондирования, и эти скопления становятся практически малозаметными.

Искажающее боковое влияние вызвано тем, что электрический ток в пространстве не распространяется, например, в виде акустического луча как в сейсморазведке, а растекается по закону диффузии по направлению наименьшего электрического сопротивления. И если дипольное электрическое зондирование на малых глубинах исследований обладает высоким разрешением, то с увеличением глубины исследования, вследствие рассеяния тока источника, оно теряет это разрешение.

Морское ДЭЗ из-за низкого электрического сопротивления морской воды можно сравнить с каротажным зондированием градиент-зондами AMN в условиях заполнения скважины соленым буровым раствором. В заполненных соленым раствором скважинах промысловые геофизики отказались от такого зондирования более пятидесяти лет тому назад, а удельное электрическое сопротивление пластов горных пород определяют при помощи основанного на принципе радиальной фокусировки тока бокового каротажа (Laterolog. Doll H.G.).

Задача морской электроразведки состоит в том, чтобы определить наличие углеводородов в традиционно встречающихся сейсмических структурах, которые при наличии в них УВ отличаются по электрическому сопротивлению от окружающих их пород не более чем в 20-30 раз. Таких структур в сотни раз больше, чем структур типа TWGP. Например, все месторождения УВ в Западной Сибири, в Обской губе и на шельфе Карского моря, в том числе и крупнейшие по своим геометрическим размерам, отличаются по электрическому сопротивлению от вмещающих пород по каротажным данным всего лишь в пределах от трех до тридцати раз. И если после проведения сейсморазведочных исследований такие структуры, как TWGP в Норвежском море, не нуждаются в дополнительной проверке их на наличие углеводородов, то из-за высокой стоимости морского бурения большинство структур без проверки на наличие в них углеводородов разбуривать рискованно. Так, например, Established UK oil and gas consultancy Hannon Westwood (см. «Upstream boom likely to frustrate North Sea investment opportunities». First Break, 25. Januar 2007, стр.22-24) не рекомендует вкладывать инвестиции в бурение оставшихся неразбуренными средних и малых сейсмических структур в Северном море, так как успешность бурения в настоящее время на этих структурах составляет всего лишь около 20% (одна удачная скважина из пяти пробуренных).

Неблагоприятная для сейсморазведки ситуация сложилась и на Сахалинском шельфе. Там на выявленных сейсморазведкой крупных структурах Западно-Шмидтовского блока («Сахалин-4») компанией British Petroleum пробурено две разведочные скважины, по данным прессы, стоимостью в \$ 103 миллиона, в которых углеводородов не обнаружено (см. газета «Ведомости» от 06.03.2008). Также оказалась сухой скважина, пробуренная на одной из крупнейших по геометрическим размерам Адмиралтейской структуре в Баренцевом море (см. Обметко В.В. и др. Перспективы нефтегазоносности Адмиралтейского мегавала. Международная конференция «Нефть и газ Арктического шельфа - 2008». Мурманск. 12-14 ноября 2008 г.) Это связано с тем, что скопления углеводородов не всегда контролируются

только структурным фактором.

Известен способ морской геоэлектроразведки с фокусировкой электрического тока, который, благодаря поддержанию равенства нулю первой осевой или ортогональной разности электрических потенциалов в находящейся в морском слое измерительной
5 точке зондирования и определению нескольких электрофизических параметров элементов геологической среды, мало подвержен влиянию боковых неоднородностей и с вполне достаточной степенью вероятности позволяет определять наличие углеводородов в выявленных сейсморазведочными исследованиями структурах и их
10 оконтуривать (Рыхлинский Н.И., Давыдычева С.Н., Лисин А.С. Способ морской геоэлектроразведки с фокусировкой электрического тока. Патент РФ №2384555 от 01 июня 2005 г., БИ №27, 2006) [3].

Недостатком этого способа является то, что им осуществляется неполная вертикальная фокусировка тока: в первом его варианте исключается в точке
15 зондирования только ортогональная горизонтальная составляющая плотности тока, а во втором - только осевая горизонтальная составляющая плотности тока.

В предложенном способе решается задача обнаружения и оконтуривания с четко выраженной границей контура нефтегазовых залежей на континентальном шельфе
20 как на больших и малых глубинах моря, так и на больших глубинах залегания этих залежей.

Технический результат, позволяющий решать данную задачу, заключается в возможности полного исключения в точке зондирования горизонтальной составляющей плотности тока j_{xy} , как ортогональной j_y так и осевой j_x , что
25 полностью исключает боковое влияние и по этой причине дает возможность при больших глубинах моря, по крайней мере до четырех километров, находить и с высокой контрастностью оконтуривать скопления углеводородов в толще геологической среды.

Этот технический результат достигается тем, что в способе морской геоэлектроразведки, при котором по оси прямолинейного профиля зондирования возбуждают электромагнитное поле в толще исследуемой среды, пропуская через нее
30 периодические прямоугольные импульсы тока с паузами после каждого из них при помощи проходящего вдоль профиля горизонтального дипольного электрического источника; и в каждой точке зондирования на протяжении каждого импульса тока и каждой паузы после его выключения измеряют с постоянным интервалом времени Δt
35 последовательность мгновенных значений первых и вторых разностей электрических потенциалов, при этом обеспечивают условие равенства нулю результирующих первых разностей электрических потенциалов;

формируют интерпретируемые параметры и, используя их и дифференциальное уравнение математической физики для напряженности электрического поля дипольного источника в электрохимически поляризующейся проводящей среде
40
$$\nabla^2 \dot{E}(i\omega) = i\omega\mu \cdot \sigma(i\omega\sigma_0\eta\tau) \cdot \dot{E}(i\omega),$$

где

∇^2 - оператор Лапласа,

$\dot{E}(i\omega)$ - напряженность электрического поля дипольного источника, выраженная в уравнении для случая гармонического изменения величины электрического поля по
50 времени,

$\sigma(i\omega\sigma_0\eta\tau)$ - частотно-зависимая электропроводность элементов среды,

σ_0 - электропроводность элементов среды без учета влияния вызванной

поляризации,

η - коэффициент их вызванной поляризации,

τ - постоянная времени спада разности потенциалов вызванной поляризации;

решают математическую обратную задачу, определяя присущие каждому элементу
5 среды три электрофизических параметра: удельную электропроводность σ_0 ,

вызванную поляризацию η и постоянную времени спада разности потенциалов
вызванной поляризации τ ;

и строят три временных разреза по этим параметрам;

10 согласно изобретению прокладывают на дне моря измерительный профиль,
который проходит через зафиксированные на морском дне измерительные установки,
каждая из которых состоит из пяти электродов: центрального и расположенных
равноудаленно вокруг него четырех по вершинам квадрата, две противоположные
15 стороны которого параллельны оси профиля;

в пределах каждого периода «импульс-пауза» проводят геометрическое
зондирование при включенном токе и зондирование на переходных процессах на
протяжении паузы после выключения тока, измеряя вторую разность электрических
потенциалов между всеми четырьмя внешними электродами измерительной установки
20 и центральным и первые разности электрических потенциалов между любыми тремя
парами из внешних четырех электродов этой установки;

при этом измерения в каждой фиксированной на измерительном профиле
измерительной установке осуществляют при прохождении горизонтального
25 дипольного источника по токовому профилю, проложенному параллельно
измерительному и сдвинутому относительно него в плане в ортогональном
направлении по оси y на расстояние ($y=-b$) и по высоте на толщину h водного слоя,
посылая токовые импульсы в исследуемую среду при всех положениях дипольного
источника от точки с координатами $[(x=-L), (y=-b), (z=+h)]$ до точки с

30 координатами $[(x=+L), (y=-b), (z=+h)]$, затем дипольный источник разворачивают и
переводят на другой параллельный токовый профиль, проложенный и сдвинутый в
плане относительно измерительного в противоположную сторону по оси y на
расстояние ($y=+b$) и по высоте на толщину h , и продолжают измерение при его
35 движении в обратном направлении от точки с координатами $[(x=+L), (y=+b), (z=+h)]$ до
точки с координатами $[(x=-L), (y=+b), (z=+h)]$;

используя измеренные значения первых и вторых разностей электрических
потенциалов, определяют два независимых от силы тока источника и горизонтальной
компоненты плотности тока ($j_x=0$ и $j_y=0$) в точке зондирования интерпретируемых
40 параметра - один $R_z(t_0)$ на основе геометрического зондирования при всех положениях
дипольного источника, вычисляемый по формуле

$$R_z(t_0)=[\Delta(U_{M1M3}(I_{B1A1}, t_0))]:$$

$$: \{ [\Delta^2 U_{M1M2M3M4N}(I_{B1A1}, t_0)] + k_1(t_0) \cdot [\Delta^2 U_{M1M2M3M4N}(I_{A2B2}, t_0)] +$$

$$45 + k_2(t_0) \cdot [\Delta^2 U_{M1M2M3M4N}(I_{A3B3}, t_0)] + k_3(t_0) \cdot [\Delta^2 U_{M1M2M3M4N}(I_{B4A4}, t_0)] \},$$

и другой $R_z(t_1)$ на основе зондирования на переходных процессах при четырех,
выбранных методом итераций, наиболее информативных разностях с координатами
дипольного источника $[(x=-a), (y=-b), (z=+h)]$, $[(x=+a), (y=-b), (z=+h)]$, $[(x=+a), (y=+b), (z=+$
50 $h)]$ и $[(x=-a), (y=+b), (z=+h)]$ из всех прозондированных, вычисляемый по формуле

$$R_z(t_1)=[\Delta U_{M1M3}(I_{B1A1}, t_1)]:$$

$$: \{ [\Delta^2 U_{M1M2M3M4N}(I_{B1A1}, t_1)] + k_1(t_1) \cdot [\Delta^2 U_{M1M2M3M4N}(I_{A2B2}, t_1)] +$$

$$+k_2(t_i) \cdot [\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{A_3 B_3}, t_i)] + k_3(t_i) \cdot [\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{B_4 A_4}, t_i)]\},$$

где

$k_1(t_0)$, $k_2(t_0)$, $k_3(t_0)$, - коэффициенты фокусировки при геометрическом зондировании,

5 обеспечивающие эквипотенциальность замкнутой линии, проходящей через четыре внешних электрода измерительной установки и, тем самым, исключение внутри этой линии горизонтальной составляющей плотности тока j_{xy} в каждой точке

зондирования на всех геометрических разностях в период импульса тока, которые определяют из системы трех уравнений:

$$1) \{ [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{B_1 A_1}, t_0)] + k_1(t_0) \cdot [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{B_2 A_2}, t_0)] + k_2(t_0) \cdot [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{A_3 B_3}, t_0)] + k_3(t_0) \cdot [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{B_4 A_4}, t_0)] = 0 \},$$

$$2) \{ [\Delta U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{B_1 A_1}, t_0)] + k_1(t_0) \cdot [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{A_2 B_2}, t_0)] + k_2(t_0) \cdot [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{A_3 B_3}, t_0)] + k_3(t_0) \cdot [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{B_4 A_4}, t_0)] = 0 \},$$

$$3) \{ [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{B_1 A_1}, t_0)] + k_1(t_0) \cdot [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{A_2 B_2}, t_0)] + k_2(t_0) \cdot [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{A_3 B_3}, t_0)] + k_3(t_0) \cdot [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{B_4 A_4}, t_0)] = 0 \},$$

15 $k_1(t_i)$, $k_2(t_i)$, $k_3(t_i)$, - коэффициенты фокусировки при зондировании на переходных процессах в каждой точке зондирования в паузе тока на всех временах переходных процессов, определяемые из системы трех уравнений

$$1) \{ [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{B_1 A_1}, t_i)] + k_1(t_i) \cdot [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{B_2 A_2}, t_i)] + k_2(t_i) \cdot [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{A_3 B_3}, t_i)] + k_3(t_i) \cdot [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{B_4 A_4}, t_i)] = 0 \},$$

$$2) \{ [\Delta U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{B_1 A_1}, t_i)] + k_1(t_i) \cdot [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{A_2 B_2}, t_i)] + k_2(t_i) \cdot [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{A_3 B_3}, t_i)] + k_3(t_i) \cdot [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{B_4 A_4}, t_i)] = 0 \},$$

$$3) \{ [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{B_1 A_1}, t_i)] + k_1(t_i) \cdot [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{A_2 B_2}, t_i)] + k_2(t_i) \cdot [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{A_3 B_3}, t_i)] + k_3(t_i) \cdot [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{B_4 A_4}, t_i)] = 0 \},$$

20 t_0 - момент времени при пропускании токового импульса, когда электрическое поле переходных процессов не отличается от своего установившегося значения, соответствующего постоянному току;

t_i - моменты времени, при которых измеряют сигналы переходных процессов через равные интервалы времени Δt на протяжении всей паузы после выключения тока;

$$[\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{B_1 A_1}, t_0)], [\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{A_2 B_2}, t_0)],$$

$[\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N A}(I_{A_3 B_3}, t_0)], [\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{B_4 A_4}, t_0)]$ - мгновенные значения вторых разностей электрических потенциалов между четырьмя внешними

40 электродами $M_1 M_2 M_3 M_4$ измерительной установки и центральным N, измеренные при времени t_0 пропускания тока в дипольном источнике при его прохождении по обоим токовым профилям через равноудаленные от центрального электрода N измерительной установки четыре точки соответственно с координатами $[-x, (y=-b), (z=+h)]$, $[+x, (y=-b), (z=+h)]$, $[+x, (y=+b), (z=+h)]$ и $[-x, (y=+b), (z=+h)]$;

$$[\Delta U_{M_1 M_2}(I_{B_1 A_1}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{A_2 B_2}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{A_3 B_3}, t_0)],$$

$$[\Delta U_{M_1 M_2}(I_{B_4 A_4}, t_0)] = 0, [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{B_1 A_1}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{A_2 B_2}, t_0)],$$

$$[\Delta U_{M_1 M_3}(I_{A_3 B_3}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{B_4 A_4}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{B_1 A_1}, t_0)],$$

$$50 [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{A_2 B_2}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{A_3 B_3}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{B_4 A_4}, t_0)]$$
 - мгновенные значения

трех первых разностей электрических потенциалов между тремя парами внешних электродов $M_1 M_2 M_1 M_3 M_1 M_4$, измеренные при времени t_0 пропускания тока в дипольном источнике при его прохождении по обоим токовым профилям через

равноудаленные от центрального электрода N измерительной установки четыре точки соответственно с координатами $[-x (y=-b), (z=+h)]$, $[+x (y=-b), (z=+h)]$, $[+x (y=+b), (z=+h)]$ и $[-x, (y=+b), (z=+h)]$;

5 $[\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N} (I_{B_1 A_1}, t_1)]$, $[\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N} (I_{A_2 B_2}, t_1)]$,
 $[\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N A} (I_{A_3 B_3}, t_1)]$, $[\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N} (I_{B_4 A_4}, t_1)]$ - мгновенные значения
 вторых разностей электрических потенциалов между четырьмя внешними
 электродами $M_1 M_2 M_3 M_4$ измерительной установки и центральным N, измеренные при
 10 времени t_1 переходных процессов в паузе тока в дипольном источнике при его
 прохождении по обоим токовым профилям через равноудаленные от центрального
 электрода N измерительной установки четыре точки соответственно с
 координатами $[(x=-a), (y=-b), (z=+h)]$, $[(x=+a), (y=-b), (z=+h)]$, $[(x=+a), (y=+b), (z=+h)]$ и $[(x=-$
 a), (y=+b), (z=+h)];

15 $[\Delta U_{M_1 M_2} (I_{B_1 A_1}, t_1)]$, $[\Delta U_{M_1 M_2} (I_{A_2 B_2}, t_1)]$, $[\Delta U_{M_1 M_2} (I_{A_3 B_3}, t_1)]$,
 $[\Delta U_{M_1 M_2} (I_{B_4 A_4}, t_1)]$, $[\Delta U_{M_1 M_3} (I_{B_1 A_1}, t_1)]$, $[\Delta U_{M_1 M_3} (I_{A_2 B_2}, t_1)]$,
 $[\Delta U_{M_1 M_3} (I_{A_3 B_3}, t_1)]$, $[\Delta U_{M_1 M_3} (I_{B_4 A_4}, t_1)]$, $[\Delta U_{M_1 M_4} (I_{B_1 A_1}, t_1)]$,
 20 $[\Delta U_{M_1 M_4} (I_{A_2 B_2}, t_1)]$, $[\Delta U_{M_1 M_4} (I_{A_3 B_3}, t_1)]$, $[\Delta U_{M_1 M_4} (I_{B_4 A_4}, t_1)]$ - мгновенные значения
 трех первых разностей электрических потенциалов между тремя парами внешних
 электродов $M_1 M_2 M_1 M_3 M_1 M_4$, измеренные при времени t_1 переходных процессов в
 паузе тока в дипольном источнике при его прохождении по обоим токовым профилям
 через равноудаленные от центрального электрода N измерительной установки четыре
 25 точки соответственно с координатами $[(x=-a), (y=-b), (z=+h)]$, $[(x=+a), (y=-b), (z=+h)]$,
 $[(x=+a), (y=+a), (z=+h)]$ и $[(x=-a), (y=+b), (z=+h)]$.

Также технический результат достигается тем, что в способе морской
 геоэлектроразведки согласно изобретению токовые профили для прохождения
 30 горизонтального дипольного источника прокладывают на заданной глубине моря или
 на дневной поверхности моря.

Также технический результат достигается тем, что в способе морской
 геоэлектроразведки согласно изобретению расстояние L равно шести километрам и
 более, расстояния a и b равны одному километру и более, глубина погружения h
 35 дипольного источника устанавливается в пределах от двадцати метров выше уровня
 морского дна до дневной поверхности.

Также технический результат достигается тем, что в способе морской
 геоэлектроразведки согласно изобретению измерительные установки размещают на
 40 измерительном профиле с равным шагом в 200-1000 метров.

Сущность изобретения поясняется чертежами.

На фиг.1 дана блок-схема устройства для реализации предложенного способа.

На фиг.2 дана схема расположения в плане на морском дне группы измерительных
 установок на измерительном профиле зондирования и два профиля, параллельных
 45 измерительному, вдоль которых перемещают дипольный источник в толще водного
 слоя моря выше морского дна на расстояние h или по дневной поверхности моря.

На фиг.3 дана схема движения дипольного источника по первому из двух
 параллельных профилей относительно измерительного.

50 На фиг.4 дана схема движения дипольного источника по второму параллельному
 профилю относительно измерительного.

На фиг.5 показана форма электрического поля с фокусировкой электрического
 тока в направлении вертикальной координаты z путем поддержания равенства нулю

5 первых разностей электрических потенциалов между каждой парой внешних измерительных электродов от результирующего действия четырех равноудаленных от центрального электрода N измерительной установки дипольных источников. Для
 10 поддержания равенства нулю первых разностей электрических потенциалов между каждой парой внешних измерительных электродов от результирующего действия четырех дипольных источников достаточно измерить три первые разности
 15 электрических потенциалов между любыми тремя парами из внешних четырех электродов этой установки. При равенстве нулю разностей электрических потенциалов между четырьмя электродами M токи от четырех токовых
 20 источников АВ, проникшие внутрь образованного этими электродами квадрата, фокусируются и в дальнейшем могут распространяться только в вертикальном направлении вдоль координаты Z. Кроме того, вертикальное направление
 25 электрического тока при условии его фокусировки поддерживается на основе изопериметрической вариации согласно функции Лагранжа (принцип наименьшего действия) (Ландау Л.В., Лифшиц Е.М. Теория поля. 2 изд. М. - Л., 1948). В плоскости M₁M₂M₃M₄N потенциал электрического поля приобретает форму эллипсоида вращения
 30 с минимумом в точке N.

20 На фиг.6 показаны формы одиночных импульсов в функции времени t: а) - форма одиночного прямоугольного импульса тока I в цепи дипольного источника АВ; б) - форма импульсов первой и второй разностей электрических потенциалов.

25 Устройство для осуществления способа (фиг.1) содержит измерительную установку для измерения первых и второй разностей электрических потенциалов. Эта установка расположена на измерительном профиле 1, проложенном по морскому дну.

30 Здесь 2 - N, 3 - M₁, 4 - M₂, 5 - M₃, 6 - M₄ - электроды второй разности электрических потенциалов измерительной установки между всеми четырьмя внешними M₁ M₂ M₃ M₄ и центральным N; 3 и 4 - электроды M₁ M₂ первого датчика первой разности
 35 электрических потенциалов; 3 и 5 - электроды M₁ M₃ второго датчика первой разности электрических потенциалов; 3 и 6 - электроды M₁ M₄ третьего датчика первой разности электрических потенциалов (таких измерительных пятиэлектродных
 40 датчиков на измерительном профиле 1 может быть расставлено любое количество (фиг.2), кроме того, такие же датчики могут быть расставлены на других измерительных профилях, параллельных профилю 1); 7 - измеритель для измерения
 45 второй разности потенциалов электрического поля $\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}$ между всеми четырьмя внешними электродами M₁ M₂ M₃ M₄ измерительной установки и центральным N; 8 - масштабирующее сопротивление обратной связи входного
 50 усилителя измерителя 7; 9, 10, 11, 12 - равные между собой суммирующие сопротивления для суммирования потенциалов U_{M1}, U_{M2}, U_{M3}, U_{M4} внешних измерительных электродов M₁M₂M₃M₄; 13 - измеритель первой разности потенциалов
 45 электрического поля $\Delta U_{M_1 M_2}$ между электродами M₁ M₂; 14 - измеритель первой разности потенциалов электрического поля $\Delta U_{M_1 M_3}$ между электродами M₁ M₃; 15 - измеритель первой разности потенциалов электрического поля $\Delta U_{M_1 M_4}$ между
 50 электродами M₁ M₄.

Для обеспечения фокусировки электрического поля в точке зондирования N параллельно измерительному профилю 1 справа и слева от него размещают в толще водного слоя моря выше морского дна на расстояние h или на поверхности моря два

профиля: первый - 16 и второй - 17, вдоль которых перемещают горизонтальный токовый дипольный источник, состоящий из двух электродов 18-А и 19-В, питаемых генератором 20 прямоугольных импульсов тока с паузами между каждым из импульсов.

5 На фиг.3 показано продвижение дипольного источника АВ по первому профилю - 16, расположенному в толще водного слоя моря выше морского дна на расстояние h или на поверхности моря параллельно измерительному - 1 и сдвинутому от него в плане на расстояние $(y=-b)$. Продвижение дипольного источника АВ по профилю 16
10 осуществляют от его начала $[-x, (y=-b), (z=+h)]$ до конца $[+x, (y=-b), (z=+h)]$. Затем дипольный источник АВ (фиг.4) перебрасывают на второй профиль 17, параллельный измерительному и сдвинутый относительно него в плане на расстояние $(y=+b)$ и по высоте на толщину h . Продвижение дипольного источника АВ по профилю 17
15 осуществляют от точки с координатами $[+x, (y=+b), (z=+h)]$ до точки с координатами $[-x, (y=+b), (z=+h)]$.

Такое сложное профилирование необходимо для измерения любых трех первых разностей электрических потенциалов между четырьмя внешними электродами измерительной установки для достижения равенства потенциалов между этими
20 электродами от суммарного действия дипольного источника при его прохождении через четыре точки с координатами $[-x, (y=-b), (z=+h)]$, $[+x, (y=-b), (z=+h)]$, $[+x, (y=+b), (z=+h)]$ и $[-x, (y=+b), (z=+h)]$. Это видно, например, из измеренных трех первых разностей электрических потенциалов: $\Delta U_{M1M2} = U_{M1} - U_{M2} = 0$, $\Delta U_{M1M3} = U_{M1} - U_{M3} = 0$, $\Delta U_{M1M4} = U_{M1} - U_{M4} = 0$. Откуда следует, что $U_{M1} = U_{M2} = U_{M3} = U_{M4}$. Сочетания равных нулю любых
25 трех разностей электрических потенциалов между четырьмя внешними электродами измерительной установки всегда приведут к равенству потенциалов между этими четырьмя электродами.

Равенство потенциалов между четырьмя внешними электродами измерительной
30 установки обеспечивает эквипотенциальность замкнутой линии, проходящей через эти четыре внешних электрода и, тем самым, исключение внутри этой линии горизонтальной компоненты плотности тока j_{xy} в каждой точке зондирования, что обеспечивает фокусировку тока вдоль вертикальной координаты z внутри этой
35 замкнутой эквипотенциальной линии.

На фиг.6 (а) показана форма одиночного прямоугольного импульса тока I в цепи дипольного источника АВ в функции времени t . Здесь T - период (импульс тока - пауза).

40 На фиг.6 (б) показана форма одного из импульсов $\Delta^n U$, где $n=1$ и 2. Также показано одно из значений $\Delta^n(t_0)$ в период пропускания тока в дипольный источник АВ и одно из значений $\Delta^n U(t_0)$ в паузе тока.

Рассмотрим основы предложенного способа, его осуществление и новые
45 возможности морской геоэлектроразведки.

Предложенный способ морской геоэлектроразведки позволяет при помощи трех профилей (фиг.1) исключать боковое влияние путем фокусировки тока. Это дает большую глубинность зондирования и высокое разрешение по латерали.

Известно, что электромагнитное поле в плохопроводящей среде распространяется
50 по времени t согласно вытекающему из первого и второго уравнений Максвелла дифференциальному затухающему волновому уравнению математической физики для напряженности электрического поля, в том числе и в случае его импульсного изменения,

$$\nabla^2 E(t) = \mu \sigma_0 \frac{\partial E(t)}{\partial t} + \mu \varepsilon \frac{\partial^2 E(t)}{\partial t^2}, \quad (2)$$

где

∇^2 - оператор Лапласа;

E - напряженность электрического поля, В/м;

μ - магнитная проницаемость - величина постоянная для немагнитных сред, к числу которых относятся осадочные геологические породы, она равна $4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м;

σ_0 - электропроводность неполяризуемой среды, См/м;

ε - диэлектрическая проницаемость, Ф/м (В.А. Говорков. Электрические и магнитные поля. М., Госэнергоиздат, 1960, с.257-263) [5].

В случае высокопроводящей среды, к которой относятся осадочные отложения горных пород, в связи с тем, что σ_0 численно многократно больше ε , второй член в правой части уравнения (2) мал по сравнению с первым, и его отбрасывают (Л.Л. Ваньян. Основы электромагнитных зондирований. М., Недра, 1965, с.28-30) [6]. Физически это означает, что токами смещения в проводящих средах пренебрегают ввиду их малости по сравнению с токами проводимости. Тогда уравнение (2)

принимает вид

$$\nabla^2 E(t) = \mu \sigma_0 \frac{\partial E(t)}{\partial t}. \quad (3)$$

Это уравнение в геоэлектроразведке имеет аналитическое решение лишь для одномерных осесимметричных сред, в частности для сред с горизонтальными неограниченно простирающимися границами раздела. При этом отметим, что в реальности геологическая среда всегда трехмерно-неоднородна, так как в ней, во-первых, присутствуют приповерхностные локальные неоднородности, во-вторых, в целом геологическая среда вдоль профиля исследований постоянно меняет свои электрофизические параметры. Однако уравнение (3), как было сказано выше, аналитически решено только для одномерных осесимметричных сред, в том числе для среды с горизонтальными плоскопараллельными границами раздела.

Поэтому использование решения уравнения (3) в обратных задачах геоэлектроразведки для поисков и оконтуривания нефтегазовых залежей допустимо лишь в том случае, когда при полевых измерениях осуществляется фокусировка электрического тока дипольного источника электромагнитного поля, так как в этом случае в точке N (Фиг.5) форма распространения поля от результирующего действия четырех дипольных источников $B_1 A_1, A_2 B_2, A_3 B_3, B_4 A_4$ при поддержании нулю результирующих первых разностей электрических потенциалов между каждой парой внешних измерительных электродов практически всегда одинаковая как в трехмерно-неоднородной среде, так и в одномерной с плоскопараллельными горизонтальными границами раздела.

Из формул (4), (5), (6) и (7) вытекает, что согласно закону Ома, суммарная составляющая горизонтальной плотности тока j_{xy} в точке зондирования N согласно принципу суперпозиции равна нулю.

Таким образом, в точке измерения происходит фокусировка тока, приводящая к исключению горизонтальной составляющей плотности тока j_{xy} и к сохранению только вертикальной компоненты плотности тока j_z , что позволяет исключать искажающее боковое влияние на результаты зондирования и позволяет корректно решать обратную задачу в трехмерно-неоднородных средах, используя известное аналитическое решение одномерного уравнения (14) для слоистых сред с

плоскопараллельными границами раздела.

Чтобы обеспечить исключение горизонтальной компоненты плотности j_{xy} в точке зондирования N с координатами $[(x=0), (y=0), (z=0)]$, в предложенном способе построены соответствующие формулы измеряемых электрических параметров: один $R_z(t_0)$ на основе геометрического зондирования при всех положениях дипольного источника, вычисляемый по формуле

$$R_z(t_0)=[\Delta(U_{M1M3}(I_{B1A1},t_0))]:$$

$$:\{[\Delta^2U_{M1M2M3M4N}(I_{B1A1},t_0)]+k_1(t_0)\cdot[\Delta^2U_{M1M2M3M4N}(I_{A2B2},t_0)]+$$

$$+k_2(t_0)\cdot[\Delta^2U_{M1M2M3M4N}(I_{A3B3},t_0)]+k_3(t_0)\cdot[\Delta^2U_{M1M2M3M4N}(I_{B4A4},t_0)]\}, (4)$$

и другой $R_z(t_i)$ на основе зондирования на переходных процессах при четырех, выбранных методом итераций, наиболее информативных разносах с координатами дипольного источника $[(x=-\alpha), (y=-b), (z=+h)]$, $[(x=+\alpha), (y=-b), (z=+h)]$, $[(x=+\alpha), (y=+b), (z=+h)]$ и $[(x=-\alpha), (y=+b), (z=+h)]$ из всех прозондированных, вычисляемый по формуле

$$R_z(t_i)=[\Delta(U_{M1M3}(I_{B1A1},t_i))]:$$

$$:\{[\Delta^2U_{M1M2M3M4N}(I_{B1A1},t_i)]+k_1(t_i)\cdot[\Delta^2U_{M1M2M3M4N}(I_{A2B2},t_i)]+$$

$$+k_2(t_i)\cdot[\Delta^2U_{M1M2M3M4N}(I_{A3B3},t_i)]+k_3(t_i)\cdot[\Delta^2U_{M1M2M3M4N}(I_{B4A4},t_i)]\}, (5)$$

где

$k_1(t_0)$, $k_2(t_0)$, $k_3(t_0)$, - коэффициенты фокусировки при геометрическом зондировании, обеспечивающие эквипотенциальность замкнутой линии, проходящей через четыре внешних электрода измерительной установки и, тем самым, исключение внутри этой линии горизонтальной составляющей плотности тока j_{xy} в каждой точке зондирования на всех геометрических разносах в период импульса тока, которые определяют из системы трех уравнений:

$$1) \{[\Delta U_{M1M2}(I_{B1A1}, t_0)]+k_1(t_0)\cdot[\Delta U_{M1M2}(I_{A2B2}, t_0)]$$

$$+k_2(t_0)\cdot[\Delta U_{M1M2}(I_{A3B3}, t_0)]+k_3(t_0)\cdot[\Delta U_{M1M2}(I_{B4A4}, t_0)]=0\},$$

$$2) \{[\Delta U_{M1M3}(I_{B1A1}, t_0)]+k_1(t_0)\cdot[\Delta U_{M1M3}(I_{A2B2}, t_0)]+$$

$$+k_2(t_0)\cdot[\Delta U_{M1M3}(I_{A3B3}, t_0)]+k_3(t_0)\cdot[\Delta U_{M1M3}(I_{B4A4}, t_0)]=0\},$$

$$3) \{[\Delta U_{M1M4}(I_{B1A1}, t_0)]+k_1(t_0)\cdot[\Delta U_{M1M4}(I_{A2B2}, t_0)]+$$

$$+k_2(t_0)\cdot[\Delta U_{M1M4}(I_{A3B3}, t_0)]+k_3(t_0)\cdot[\Delta U_{M1M4}(I_{B4A4}, t_0)]=0\}, (6)$$

$k_1(t_i)$, $k_2(t_i)$, $k_3(t_i)$, - коэффициенты фокусировки при зондировании на переходных процессах, обеспечивающие эквипотенциальность замкнутой линии, проходящей через четыре внешних электрода измерительной установки и, тем самым, исключение внутри этой линии горизонтальной составляющей плотности тока j_{xy} в каждой точке зондирования на всех временах переходных процессов в паузе тока, которые определяют из системы трех уравнений

$$1) \{[\Delta U_{M1M2}(I_{B1A1}, t_i)]+k_1(t_i)\cdot[\Delta U_{M1M2}(I_{B2A2}, t_i)]$$

$$+k_2(t_i)\cdot[\Delta U_{M1M2}(I_{A3B3}, t_i)]+k_3(t_i)\cdot[\Delta U_{M1M2}(I_{B4A4}, t_i)]=0\},$$

$$2) \{[\Delta U_{M1M3}(I_{B1A1}, t_i)]+k_1(t_i)\cdot[\Delta U_{M1M3}(I_{A2B2}, t_i)]+$$

$$+k_2(t_i)\cdot[\Delta U_{M1M3}(I_{A3B3}, t_i)]+k_3(t_i)\cdot[\Delta U_{M1M3}(I_{B4A4}, t_i)]=0\},$$

$$3) \{[\Delta U_{M1M4}(I_{B1A1}, t_i)]+k_1(t_i)\cdot[\Delta U_{M1M4}(I_{A2B2}, t_i)]+$$

$$+k_2(t_i)\cdot[\Delta U_{M1M4}(I_{A3B3}, t_i)]+k_3(t_i)\cdot[\Delta U_{M1M4}(I_{B4A4}, t_i)]=0\}, (7)$$

t_0 - момент времени при пропуске токового импульса, когда электрическое поле переходных процессов не отличается от своего установившегося значения,

соответствующего постоянному току;

t_1 - моменты времени, при которых измеряют сигналы переходных процессов через равные интервалы времени Δt на протяжении всей паузы после выключения тока;

$$5 \quad [\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{B_1 A_1}, t_0)], [\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{A_2 B_2}, t_0)],$$

$[\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{A_3 B_3}, t_0)], [\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{B_4 A_4}, t_0)]$ - мгновенные значения вторых разностей электрических потенциалов между четырьмя внешними электродами $M_1 M_2 M_3 M_4$ измерительной установки и центральным N, измеренные при времени t_0 пропускания тока в дипольном источнике при его прохождении по обоим токовым профилям через равноудаленные от центрального электрода N измерительной установки четыре точки соответственно с координатами $[-x, (y=-b), (z=+h)], [+x, (y=-b), (z=+h)], [+x, (y=+b), (z=+h)]$ и $[-x, (y=+b), (z=+h)]$;

$$15 \quad [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{B_1 A_1}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{A_2 B_2}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{A_3 B_3}, t_0),$$

$$[\Delta U_{M_1 M_2}(I_{B_4 A_4}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{B_1 A_1}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{A_2 B_2}, t_0)],$$

$$[\Delta U_{M_1 M_3}(I_{A_3 B_3}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{B_4 A_4}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{B_1 A_1}, t_0)],$$

$$[\Delta U_{M_1 M_4}(I_{A_2 B_2}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{A_3 B_3}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{B_4 A_4}, t_0)]$$
 - мгновенные значения

20 трех первых разностей электрических потенциалов между тремя парами внешних электродов $M_1 M_2 M_1 M_3 M_1 M_4$ измеренные при времени t_0 пропускания тока в дипольном источнике при его прохождении по обоим токовым профилям через равноудаленные от центрального электрода N измерительной установки четыре точки соответственно с координатами $[-x, (y=-b), (z=+h)], [+x, (y=-b), (z=+h)], [+x, (y=+b), (z=+h)]$ и $[-x, (y=+b), (z=+h)]$;

$$[\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{B_1 A_1}, t_1)], [\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{A_2 B_2}, t_1)],$$

$$[\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{A_3 B_3}, t_1)], [\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{B_4 A_4}, t_1)]$$
 - мгновенные значения

30 вторых разностей электрических потенциалов между четырьмя внешними электродами $M_1 M_2 M_3 M_4$ измерительной установки и центральным N, измеренные при времени t_1 переходных процессов в паузе тока в дипольном источнике при его прохождении по обоим токовым профилям через равноудаленные от центрального электрода N измерительной установки четыре точки соответственно с координатами $[(x=-a), (y=-b), (z=+h)], [(x=+a), (y=-b), (z=+h)], [(x=+a), (y=+b), (z=+h)]$ и $[(x=-a), (y=+b), (z=+h)]$;

$$[\Delta U_{M_1 M_2}(I_{B_1 A_1}, t_1)], [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{A_2 B_2}, t_1)], [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{A_3 B_3}, t_1)],$$

$$[\Delta U_{M_1 M_2}(I_{B_4 A_4}, t_1)], [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{B_1 A_1}, t_1)], [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{A_2 B_2}, t_1)],$$

$$40 \quad [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{A_3 B_3}, t_1)], [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{B_4 A_4}, t_1)], [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{B_1 A_1}, t_1)],$$

$$[\Delta U_{M_1 M_4}(I_{A_2 B_2}, t_1)], [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{A_3 B_3}, t_1)], [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{B_4 A_4}, t_1)]$$
 - мгновенные значения

трех первых разностей электрических потенциалов между тремя парами внешних электродов $M_1 M_2 M_1 M_3 M_1 M_4$, измеренные при времени t_1 переходных процессов в паузе тока в дипольном источнике при его прохождении по обоим токовым профилям через равноудаленные от центрального электрода N измерительной установки четыре точки соответственно с координатами $[(x=-a), (y=-b), (z=+h)], [(x=+a), (y=-b), (z=+h)], [(x=+a), (y=+b), (z=+h)]$ и $[(x=-a), (y=+b), (z=+h)]$.

50 Формулы (4) и (5) независимо от величины тока в диполе АВ любой трехмерно-неоднородной среде в каждой точке пространства в направлении вертикальной координаты z в точке зондирования N в плоскости, проходящей через измерительные электроды на любых расстояниях x между дипольным источником АВ

и точкой зондирования N при геометрическом зондировании и на всем протяжении времени t_1 при зондировании на переходных процессах, обеспечивают равенство нулю горизонтальной компоненты плотности тока j . Это происходит всегда независимо от того, что в процессе изменения расстояния x между дипольным источником АВ и точкой измерения N или в процессе изменения времени t переходных процессов множители $k_1(t_0)$, $k_2(t_0)$, $k_3(t_0)$ и $k_1(t_1)$, $k_2(t_1)$, $k_3(t_1)$ меняются. Благодаря этому при решении обратной задачи исключается эффект бокового влияния, т.е. электрическое поле в трехмерно-неоднородной среде в точке зондирования N, описанное формулами (4) и (5), всегда практически совпадает с полем в одномерной горизонтально-слоистой среде с неограниченными границами раздела.

Это позволяет решать обратную задачу в точке измерения N для трехмерно-неоднородной среды, используя известное аналитическое решение для одномерной среды с горизонтально-слоистыми границами раздела.

Отметим также, что уравнение (3) является уравнением распространения по времени электромагнитного поля в проводящей неполяризуемой среде, которое совпадает с известным в математической физике уравнением теплопроводности или диффузии и которое в геофизике в способах сопротивлений обычно используют для изучения распространения переменного электромагнитного поля в глубь толщи исследуемых геологических пород.

При этом считают, что электропроводность σ_0 того или иного геологического горизонта является главным и практически единственным определяющим его электрические свойства параметром, обладает своим постоянным значением для каждого горизонта и не зависит от частоты возбуждения электромагнитного поля. Однако геологическим осадочным породам при их возбуждении применяемым в геофизике переменным низкочастотным электрическим током свойственна вызванная им поляризация η . Вызванная поляризация есть безразмерная величина, зависящая от электрохимической активности осадочных горных пород. Она определяется как отношение разностей потенциалов, измеренных на образце исследуемой породы после выключения импульсов тока через 0,5 сек ($\Delta U_{вп}$) и до выключения (ΔU). Это отношение обычно выражают в процентах

$$\eta(t = 0,5\text{сек}) = \frac{\Delta U_{вп}(t = 0,5\text{сек})}{\Delta U} \cdot 100\% \quad (8)$$

Вызванная поляризация осадочных геологических пород имеет уникальную среди физических параметров стабильность и практически не зависит от состава пород и их температуры. Она для ионопроводящих (осадочных) пород зависит от многих факторов: влажности и пористости, состава и концентрации раствора в порах породы, структуры и размера пор, содержания глинистых минералов и т.д. (В.А.Комаров. Электроразведка методом поляризации. Л., Наука, 1980, с.392) [7]. И, самое главное, вызванная поляризация несет основную информацию о присутствии в геологической среде обладающих высокой степенью этой поляризации нефтегазовых залежей.

Установлено (W.H.Pelton, S.H.Ward, P.O.Hallob, W.R.Sill and P.H.Nelson. Mineral discrimination and removal of inductive coupling with multi-frequency JP, Geophysics 43, 1978, с.588-603) [8], что электропроводность осадочных горных пород не постоянна, а зависит от вызванной поляризации и от частоты возбуждения электрического поля по предложенной, в частности, К.С.Сол и Р.Н.Сол в форме гармонического его изменения по времени эмпирической формуле

$$\sigma(i\omega\sigma_0\eta\tau) = \sigma_0 \left(1 - \frac{\eta}{1 + (i\omega\tau)^c} \right), \quad (9)$$

в которой эта электропроводность зависит от ω , σ_0 и τ ;

5 где

η - вызванная поляризация пород, безразмерная величина, обычно выражающаяся в процентах;

τ - постоянная времени, определяющая скорость спада разности потенциалов, связанной с вызванной поляризацией, сек;

10

ω - гармоническая частота электрического возбуждения, Герцы;

c - безразмерный показатель степени, который хотя и не является физическим параметром горных пород, но и от него зависит $\sigma(i\omega\sigma_0\eta\tau)$.

Вызванная поляризация η на низких частотах электрического возбуждения, в отличие от диэлектрической проницаемости ϵ , численно не столь мала по сравнению с электропроводностью σ_0 для осадочных геологических пород, измеренной, например, при токах высоких частот ($\omega \rightarrow \infty$), когда, как это видно из формулы (9), вызванная поляризация не проявляется. Следовательно, вызванной поляризацией при изучении с целью поисков и оконтуривания нефтегазовых залежей геоэлектрических параметров осадочных геологических пород на низкочастотном переменном токе уже пренебрегать нельзя.

15

Известно (Электроразведка. Справочник геофизика. Ред. В.К.Хмелевский и др. М., Недра, 1989, Книга вторая, с.99-102) [9], что для тех или иных осадочных геологических пород через 0,5 сек после выключения импульса возбуждающего тока величина вызванной поляризацией разности потенциалов, несмотря на ее интенсивный спад, еще сохраняет уровни, численные значения которых составляют от 0,2% до 10% от численных значений разностей потенциалов прямого поля, связанных с электропроводностью σ_0 , измеренной, как отмечалось выше, при токах высоких частот, когда вызванная поляризация не проявляется. Чтобы сохранить по форме формулу (9), тепловое уравнение (3) запишем для случая гармонического изменения величины электромагнитного поля по времени, имея в виду, что

30

$$\dot{E}(i\omega) = E_m \cdot e^{i\omega t},$$

35

и учитывая то, что

$$\frac{\partial E(t)}{\partial t} \Leftrightarrow i\omega \cdot E(i\omega) \quad (10)$$

и

40

$$\frac{\partial^2 E(t)}{\partial t^2} \Leftrightarrow -\omega^2 \cdot E(i\omega). \quad (11)$$

Тогда уравнение (3) для проводящей неполяризуемой среды с учетом преобразования (10) примет вид

45

$$\nabla^2 \dot{E}(i\omega) = i\omega\mu\sigma_0 \cdot E(i\omega). \quad (12)$$

Но поскольку электропроводность осадочных горных пород не постоянна, а зависит от вызванной поляризации и от частоты возбуждения по формуле (9), то уравнение (12) с учетом этой формулы приобретает уже четыре определяющих свойства поляризуемой среды параметра - σ_0 , η , τ и c вместо одного σ_0 и для случая гармонического изменения величины электромагнитного поля по времени принимает вид

50

$$\nabla^2 \dot{E}(i\omega) = i\omega\mu\sigma_0 \left[1 - \frac{\eta}{1 + (i\omega\tau)^c} \right] \cdot \dot{E}(i\omega), \quad (13)$$

а в общем виде с учетом (9) -

$$\nabla^2 \dot{E}(i\omega) = i\omega\mu \cdot \sigma(i\omega\sigma_0\eta\tau) \cdot \dot{E}(i\omega). \quad (14)$$

Замена частотно-независимой электропроводности σ_0 , которая присутствует в уравнении (12), на частотно-зависимую $\sigma(i\omega)$, присутствующую в уравнении (14), математически корректна и теоретически доказана (А.К.Куликов, Б.А.Шемякин. Электроразведка фазовым методом вызванной поляризации. М., Недра, 1978 г. стр.24-26) [10]; (Дж.Р.Уайт. Геоэлектромагнетизм. М., Недра, 1987 г. стр.61-62)[11].

Для предложенного способа задача обнаружения нефтегазовых залежей в исследуемой толще горных пород как математическая обратная задача решается согласно уравнению (14) в функции расстояния x между дипольным источником АВ и точкой измерения N и в функции времени t переходных процессов и, как следствие этого, в функции, зависящей от расстояния x и времени t глубины проникновения электромагнитного поля, по трем независимым друг от друга параметрам среды: электропроводности σ_0 ; вызванной поляризации η ; постоянной времени τ спада разности электрических потенциалов вызванной поляризации; и по четвертому, не являющемуся параметром среды, показателю степени c , вытекающему из эмпирической формулы (9).

Эта задача, как обратная математическая задача, решается для предложенного способа путем использования всего массива определяемых этим способом, по крайней мере, двух независимых от силы тока источников нормированных электрических параметров, описанных формулами (4) (5), (6) и (7).

Следует отметить, что при зондировании предложенным способом в каждой измерительной точке профиля на всем его протяжении получают цифровую информацию по первым и второй разностям электрических потенциалов с шагом дискретности через равные интервалы времени Δt как при каждом включении тока в дипольном источнике в процессе зондирования (геометрическое зондирование), так и в паузе тока (зондирование на переходных процессах).

При этом, если для геометрического зондирования получение информации об отклике среды от каждого определяющего разнос зондирующей установки импульса тока необходимо, то для зондирования на переходных процессах достаточно информации от одной зондирующей установки, но с таким разносом, который несет наибольшую информацию о зондируемой геологической среде (отметим, что при больших разносах сигналы переходных процессов слабые и их трудно выделить на фоне помех, а при малых разносах зондирование на переходных процессах обладает малой глубиной). Поэтому в решении обратной задачи, в частности, поставлена также задача найти методом итераций наиболее информативный разнос зондирующей установки среди всех прозондированных.

В конечном результате, решения обратной задачи с учетом итераций находят модель среды, наиболее близкую по геометрическому строению и электрическим параметрам к исследуемой, строят геоэлектрические разрезы полученных параметров σ_0 , η и τ и выделяют на них участки с аномальными значениями, соответствующими в плане положению нефтегазовых залежей.

Пример конкретного выполнения

На фиг.1 представлена блок-схема устройства для реализации предложенного способа. На блок-схемах показан помещенный в толщу морской воды на высоту h

относительно морского дна или на дневную поверхность дипольный источник АВ (18 и 19), питаемый генератором 20 прямоугольных импульсов тока. Отметим, что при помещении дипольного источника на дневную поверхность упрощается конструкция кабельной косы дипольного источника и создается возможность повысить величину электрического тока в цепи дипольного источника. Помещение дипольного источника на дневную поверхность позволяет вести исследования предлагаемым способом при малых глубинах моря (до 300 м). При больших глубинах моря (свыше 300 м) из-за поглощения сигналов переходных процессов в толще высокопроводящей морской воды горизонтальный дипольный источник погружают на заданную глубину и его прохождение вдоль двух токовых профилей осуществляют на этой глубине.

Устройство (фиг.1) содержит измерительную установку для измерения разностей электрических потенциалов. Эта установка расположена на измерительном профиле -1, проложенном по морскому дну.

Здесь 2 - N, 3 - M₁, 4 - M₂, 5 - M₃, 6 - M₄ - электроды измерительной установки; 7 - измеритель для измерения второй разности потенциалов электрического поля $\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}$ между четырьмя внешними электродами M₁ M₂ M₃ M₄ измерительной установки и центральным N; 8 - масштабирующее сопротивление обратной связи входного решающего усилителя измерителя 7; 9, 10, 11, 12 - равные между собой суммирующие сопротивления для суммирования потенциалов U_{M1}, U_{M2}, U_{M3}, U_{M4} внешних измерительных электродов M₁ M₂ M₃ M₄.

Суммирование потенциалов U_{M1}, U_{M2}, U_{M3}, U_{M4} внешних измерительных электродов M₁ M₂ M₃ M₄ осуществляется при помощи линейного решающего усилителя, выполняющего алгебраическое суммирование четырех входных сигналов U_{M1}, U_{M2}, U_{M3}, U_{M4} с умножением на заданную постоянную величину R₈/R₉ при условии, что R₉=R₁₀=R₁₁=R₁₂ (см. Б.Я.Коган. Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования. Физ.-мат. Изд. М. 1963, стр.60-64).

Вторая разность электрических потенциалов из формул (4) и (5) определяется по соотношению $\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N} = [\Delta^2 U_{M_1 N M_3} + \Delta^2 U_{M_2 N M_4} = (\Delta U_{M_1 N} - \Delta U_{N M_3}) + (\Delta U_{M_2 N} - \Delta U_{N M_4}) = (U_{M_1} - U_N) - (U_N - U_{M_3}) + (U_{M_2} - U_N) - (U_N - U_{M_4}) = U_{M_1} + U_{M_2} + U_{M_3} + U_{M_4} - 4U_N$. Таким образом, в решающем усилителе измерителя 7 масштабирующее отношение сопротивлений R₈/R₉ должно равняться 1/4.

Устройство осуществляет также измерение трех первых разностей электрических потенциалов: $\Delta U_{M_1 M_2}$ между электродами M₁ M₂, $\Delta U_{M_1 M_3}$ между электродами M₁ M₃ и $\Delta U_{M_1 M_4}$ между электродами M₁ M₄.

Измеренные разности усиливают усилителями 7, 13, 14 и 15 и обрабатывают при помощи компьютера для получения численных значений по формулам (4), (5), (6) и (7).

Отметим, что по данным математического моделирования расстояние L равно шести километрам и более, расстояния a и b равны одному километру и более, глубина погружения h дипольного источника устанавливается в пределах от двадцати метров выше уровня морского дна до дневной поверхности.

Формула изобретения

1. Способ морской геоэлектроразведки, при котором по оси профиля зондирования возбуждают электромагнитное поле в толще исследуемой среды, пропуская через нее

периодические прямоугольные импульсы тока с паузами после каждого из них при помощи проходящего вдоль профиля горизонтального дипольного электрического источника; в каждой точке зондирования на протяжении каждой паузы после выключения тока измеряют с постоянным интервалом времени Δt последовательность
 5 мгновенных значений первых и вторых разностей электрических потенциалов переходных процессов, при этом обеспечивают условие равенства нулю результирующих первых разностей электрических потенциалов;

формируют интерпретируемые параметры и, используя их и дифференциальное
 10 уравнение математической физики для напряженности электрического поля дипольного источника в электрохимически поляризуемой проводящей среде

$$\nabla^2 \dot{E}(i\omega) = i\omega\mu \cdot \sigma(i\omega\sigma_0\eta\tau) \cdot \dot{E}(i\omega),$$

где ∇^2 - оператор Лапласа,
 15 $\dot{E}(i\omega)$ - напряженность электрического поля дипольного источника, выраженная в уравнении для случая гармонического изменения величины электрического поля по времени,

$\sigma(i\omega\sigma_0\eta\tau)$ - частотно-зависимая электропроводность элементов среды,

σ_0 - электропроводность элементов среды без учета влияния вызванной
 20 поляризации,

η - коэффициент их вызванной поляризации,

τ - постоянная времени спада разности потенциалов вызванной поляризации;

решают математическую обратную задачу, определяя присущие каждому элементу
 25 среды три электрофизических параметра: удельную электропроводность σ_0 , вызванную поляризацию η и постоянную времени спада разности потенциалов вызванной поляризации τ ;

и строят три временных разреза по этим параметрам;

отличающийся тем, что прокладывают на дне моря измерительный профиль,
 30 который проходит через зафиксированные на морском дне измерительные установки, каждая из которых состоит из пяти электродов:

центрального и расположенных равноудаленно вокруг него четырех по вершинам
 35 квадрата, две противоположные стороны которого параллельны оси профиля;

в пределах каждого периода «импульс-пауза» проводят геометрическое
 зондирование при включенном токе и зондирование на переходных процессах на протяжении паузы после выключения тока, измеряя вторую разность электрических потенциалов между всеми четырьмя внешними электродами измерительной установки и центральным и первые разности электрических потенциалов между любыми тремя
 40 парами из внешних четырех электродов этой установки;

при этом измерения в каждой фиксированной на измерительном профиле измерительной установке осуществляют при прохождении горизонтального дипольного источника по токовому профилю, проложенному параллельно
 45 измерительному и сдвинутому относительно него в плане в ортогональном направлении по оси y на расстояние ($y=-b$) и по высоте на толщину h водного слоя, посылая токовые импульсы в исследуемую среду при всех положениях дипольного источника от точки с координатами $[(x=-L), (y=-b), (z=+h)]$ до точки с
 50 координатами $[(x=+L), (y=-b), (z=+h)]$, затем дипольный источник разворачивают и переводят на другой параллельный токовый профиль, проложенный и сдвинутый в плане относительно измерительного в противоположную сторону по оси y на расстояние ($y=+b$) и по высоте на толщину h , и продолжают измерение при его

движении в обратном направлении от точки с координатами [(x=+L), (y=+b), (z=+h)] до точки с координатами [(x=-L), (y=+b), (z=+h)]; используя измеренные значения первых и вторых разностей электрических потенциалов определяют два независимых от силы тока источника и горизонтальной компоненты плотности тока ($j_x=0$ и $j_y=0$) в точке зондирования интерпретируемых параметра - один $R_z(t_0)$ на основе геометрического зондирования при всех положениях дипольного источника, вычисляемый по формуле

$$R_z(t_0)=[\Delta U_{M1M3}(I_{B1A1}, t_0):$$

$$:\{[\Delta^2 U_{M1M2M3M4N}(I_{B1A1}, t_0)]+k1(t_0) \cdot [\Delta^2 U_{M1M2M3M4N}(I_{A2B2}, t_0)]+$$

$$+k2(t_0) \cdot [\Delta^2 U_{M1M2M3M4N}(I_{A3B3}, t_0)]+k3(t_0) \cdot [\Delta^2 U_{M1M2M3M4N}(I_{B4A4}, t_0)]\}, \text{ и другой}$$

$R_z(t_i)$ на основе зондирования на переходных процессах при четырех, выбранных методом итераций, наиболее информативных разностях с координатами дипольного источника [(x=-a), (y=-b), (z=+h)], [(x+a), (y=-b), (z=+h)], [(x=+a), (y=+b), (z=+h)] и [(x=-a), (y=+b), (z=+h)] из всех прозондированных, вычисляемый по формуле

$$Rz(t_i)=[\Delta^2 U_{M1M3}(I_{B1A1}, t_i):$$

$$:\{[\Delta^2 U_{M1M2M3M4N}(I_{B1A1}, t_i)]+k1(t_i) \cdot [\Delta^2 U_{M1M2M3M4N}(I_{A2B2}, t_i)]+$$

$$+k2(t_i) \cdot [\Delta^2 U_{M1M2M3M4N}(I_{A3B3}, t_i)]+k3(t_i) \cdot [\Delta^2 U_{M1M2M3M4N}(I_{B4A4}, t_i)]\},$$

где $k1(t_0)$, $k2(t_0)$, $k3(t_0)$ - коэффициенты фокусировки при геометрическом

зондировании, обеспечивающие эквипотенциальность замкнутой линии, проходящей через четыре внешних электрода измерительной установки и, тем самым, исключение внутри этой линии горизонтальной составляющей плотности тока j_{xy} в каждой точке зондирования на всех геометрических разностях в период импульса тока, которые определяют из системы трех уравнений

$$1) \{[\Delta U_{M1M2}(I_{B1A1}, t_0)]+k1(t_0) \cdot [\Delta U_{M1M2}(I_{A2B2}, t_0)]+$$

$$+k2(t_0) \cdot [\Delta U_{M1M2}(I_{A3B3}, t_0)]+k3(t_0) \cdot [\Delta U_{M1M2}(I_{B4A4}, t_0)]\}=0,$$

$$2) \{[\Delta U_{M1M3}(I_{B1A1}, t_0)]+k1(t_0) \cdot [\Delta U_{M1M3}(I_{A2B2}, t_0)]+$$

$$+k2(t_0) \cdot [\Delta U_{M1M3}(I_{A3B3}, t_0)]+k3(t_0) \cdot [\Delta U_{M1M3}(I_{B4A4}, t_0)]\}=0,$$

$$3) \{[\Delta U_{M1M4}(I_{B1A1}, t_0)]+k1(t_0) \cdot [\Delta U_{M1M4}(I_{A2B2}, t_0)]+$$

$$+k2(t_0) \cdot [\Delta U_{M1M4}(I_{A3B3}, t_0)]+k3(t_0) \cdot [\Delta U_{M1M4}(I_{B4A4}, t_0)]\}=0,$$

$k1(t_i)$, $k2(t_i)$, $k3(t_i)$ - коэффициенты фокусировки при зондировании на переходных

процессах в каждой точке зондирования в паузе тока на всех временах переходных процессов, определяемые из системы трех уравнений

$$1) \{[\Delta U_{M1M2}(I_{B1A1}, t_i)]+k1(t_i) \cdot [\Delta U_{M1M2}(I_{A2B2}, t_i)]+$$

$$+k2(t_i) \cdot [\Delta U_{M1M2}(I_{A3B3}, t_i)]+k3(t_i) \cdot [\Delta U_{M1M2}(I_{B4A4}, t_i)]\}=0,$$

$$2) \{[\Delta U_{M1M3}(I_{B1A1}, t_i)]+k1(t_i) \cdot [\Delta U_{M1M3}(I_{A2B2}, t_i)]+$$

$$+k2(t_i) \cdot [\Delta U_{M1M3}(I_{A3B3}, t_i)]+k3(t_i) \cdot [\Delta U_{M1M3}(I_{B4A4}, t_i)]\}=0,$$

$$3) \{[\Delta U_{M1M4}(I_{B1A1}, t_i)]+k1(t_i) \cdot [\Delta U_{M1M4}(I_{A2B2}, t_i)]+$$

$$+k2(t_i) \cdot [\Delta U_{M1M4}(I_{A3B3}, t_i)]+k3(t_i) \cdot [\Delta U_{M1M4}(I_{B4A4}, t_i)]\}=0,$$

t_0 - момент времени при пропуске токового импульса, когда электрическое поле переходных процессов не отличается от своего установившегося значения,

соответствующего постоянному току;

t_i - моменты времени, при которых измеряют сигналы переходных процессов через равные интервалы времени Δt на протяжении всей паузы после выключения тока;

$$[\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{B_1 A_1}, t_0)], [\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{A_2 B_2}, t_0)],$$

$$[\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{A_3 B_3}, t_0)], [\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{B_4 A_4}, t_0)] - \text{мгновенные значения}$$

5 вторых разностей электрических потенциалов между всеми четырьмя внешними электродами $M_1 M_2 M_3 M_4$ измерительной установки и центральным N, измеренные при времени t_0 пропускания тока в дипольном источнике при его прохождении по обоим токовым профилям через равноудаленные от центрального электрода N измерительной установки четыре точки соответственно с координатами $[-x, (y=-b), (z=$
 10 $+h)], [+x, (y=-b), (z=+h)], [+x, (y=+b), (z=+h)]$ и $[-x, (y=+b), (z=+h)]$;

$$[\Delta U_{M_1 M_2}(I_{B_1 A_1}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{A_2 B_2}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{A_3 B_3}, t_0)],$$

$$[\Delta U_{M_1 M_2}(I_{B_4 A_4}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{B_1 A_1}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{A_2 B_2}, t_0)],$$

$$[\Delta U_{M_1 M_3}(I_{A_3 B_3}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{B_4 A_4}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{B_1 A_1}, t_0)],$$

15 $[\Delta U_{M_1 M_4}(I_{A_2 B_2}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{A_3 B_3}, t_0)], [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{B_4 A_4}, t_0)]$ - мгновенные значения трех первых разностей электрических потенциалов между тремя парами внешних электродов $M_1 M_2 M_1 M_3 M_1 M_4$, измеренные при времени t_0 пропускания тока в дипольном источнике при его прохождении по обоим токовым профилям через
 20 равноудаленные от центрального электрода N измерительной установки четыре точки соответственно с координатами $[-x, (y=-b), (x=+h)], [+x, (y=-b), (z=+h)], [+x, (y=+b), (z=$
 $+h)]$ и $[-x, (y=+b), (z=+h)]$;

$$[\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{B_1 A_1}, t_1)], [\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{A_2 B_2}, t_1)],$$

25 $[\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{A_3 B_3}, t_1)], [\Delta^2 U_{M_1 M_2 M_3 M_4 N}(I_{B_4 A_4}, t_1)]$ - мгновенные значения вторых разностей электрических потенциалов между всеми четырьмя внешними

электродами $M_1 M_2 M_3 M_4$ измерительной установки и центральным N, измеренные при времени t_1 переходных процессов в паузе тока в дипольном источнике при его
 30 прохождении по обоим токовым профилям через равноудаленные от центрального электрода N измерительной установки четыре точки соответственно с координатами $[(x=-a), (y=-b), (z=+h)], [(x=+h), (y=-b), (z=+h)], [(x=+a), (y=+b), (z=+h)]$ и $[(x=-h), (y=+b), (z=$
 $+h)]$;

$$[\{\Delta U_{M_1 M_2}(I_{B_1 A_1}, t_1)], [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{A_2 B_2}, t_1)], [\Delta U_{M_1 M_2}(I_{A_3 B_3}, t_1)],$$

35 $[\Delta U_{M_1 M_4}(I_{B_4 A_4}, t_1)], [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{B_1 A_1}, t_1)], [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{A_2 B_2}, t_1)],$

$$[U_{M_1 M_3}(I_{A_3 B_3}, t_1)], [\Delta U_{M_1 M_3}(I_{B_4 A_4}, t_1)], [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{B_1 A_1}, t_1)],$$

$$[\Delta U_{M_1 M_4}(I_{A_2 B_2}, t_1)], [\Delta U_{M_1 M_4}(I_{A_3 B_3}, t_1)], [\Delta^2 U_{M_1 M_4}(I_{B_4 A_4}, t_1)]$$
 - мгновенные значения

40 трех первых разностей электрических потенциалов между тремя парами внешних электродов $M_1 M_2 M_1 M_3 M_1 M_4$, измеренные при времени t_1 переходных процессов в паузе тока в дипольном источнике при его прохождении по обоим токовым профилям через равноудаленные от центрального электрода N измерительной установки четыре
 45 точки соответственно с координатами $[(x=-a), (y=-b), (z=+h)], [(x=+a), (y=-b), (z=+h)], [(x=+a), (y=+b), (z=+h)]$ и $[(x=-a), (y=+b), (z=+h)]$.

2. Способ морской геоэлектроразведки по п.1, отличающийся тем, что токовые профили для прохождения горизонтального дипольного источника прокладывают на заданной глубине моря или на дневной поверхности моря.

50 3. Способ морской геоэлектроразведки по п.1, отличающийся тем, что расстояние L равно шести километрам и более, расстояния a и b равны одному километру и более, глубина погружения h дипольного источника устанавливается в пределах от двадцати метров выше уровня морского дна до дневной поверхности.

4. Способ морской геоэлектроразведки по п.1, отличающийся тем, что измерительные установки размещают на измерительном профиле с равным шагом в 200÷1000 м.

5

10

15

20

25

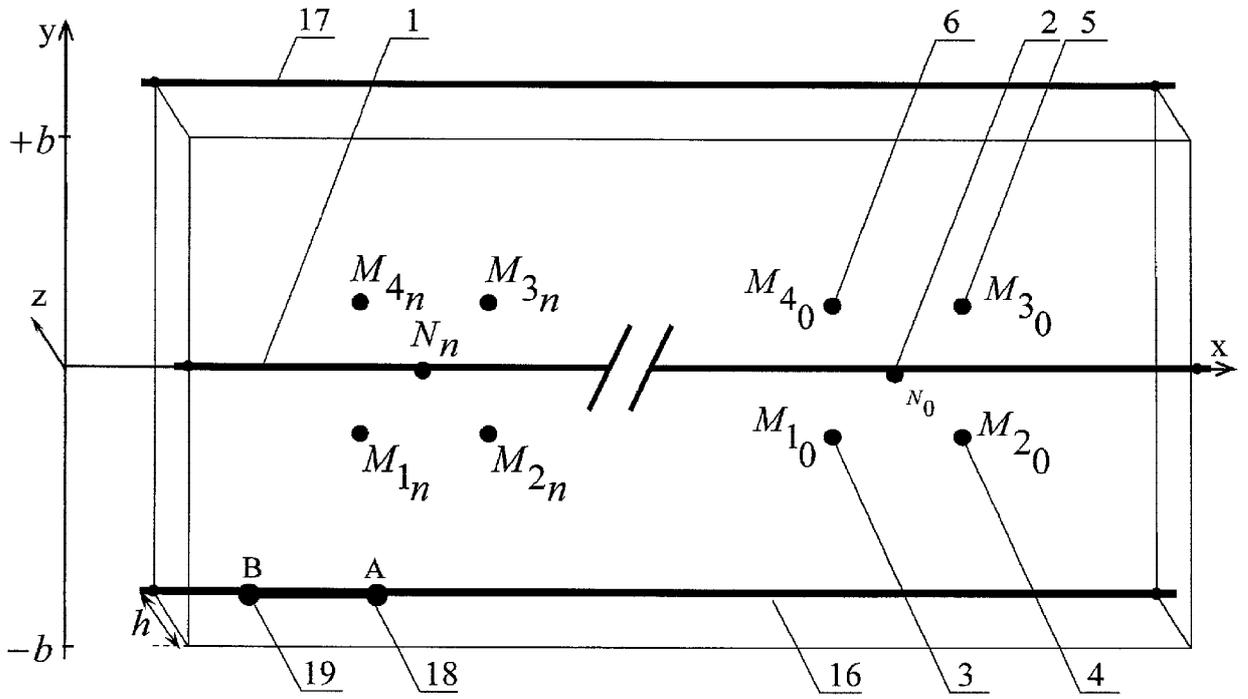
30

35

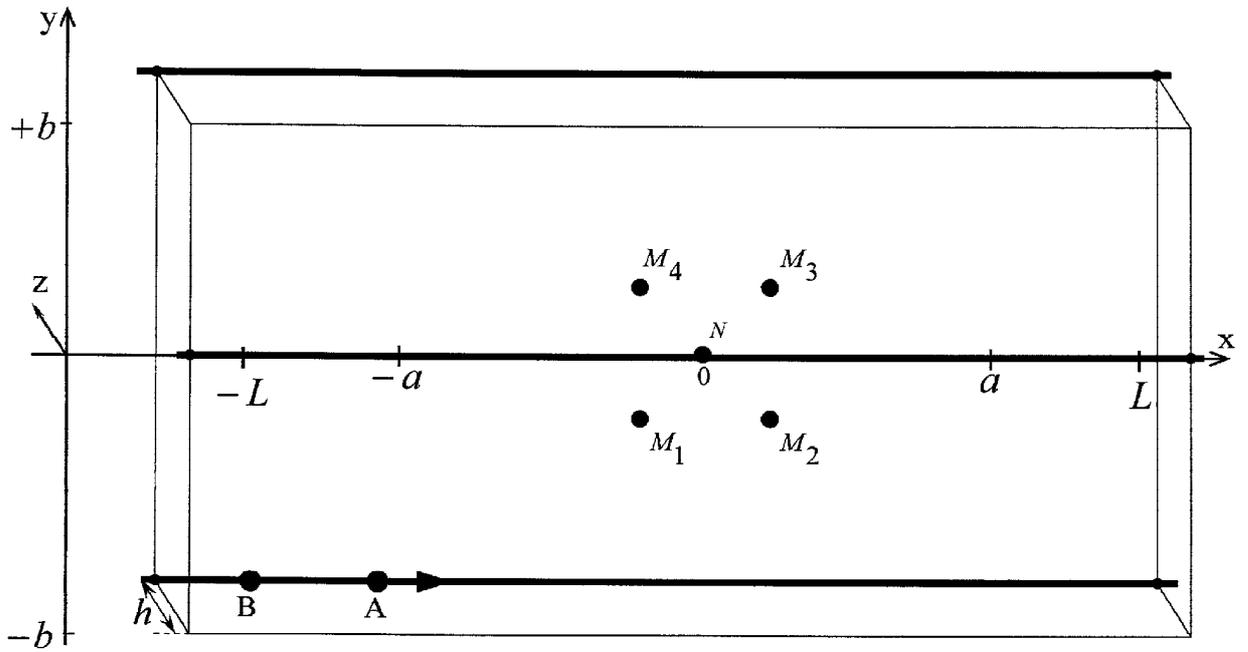
40

45

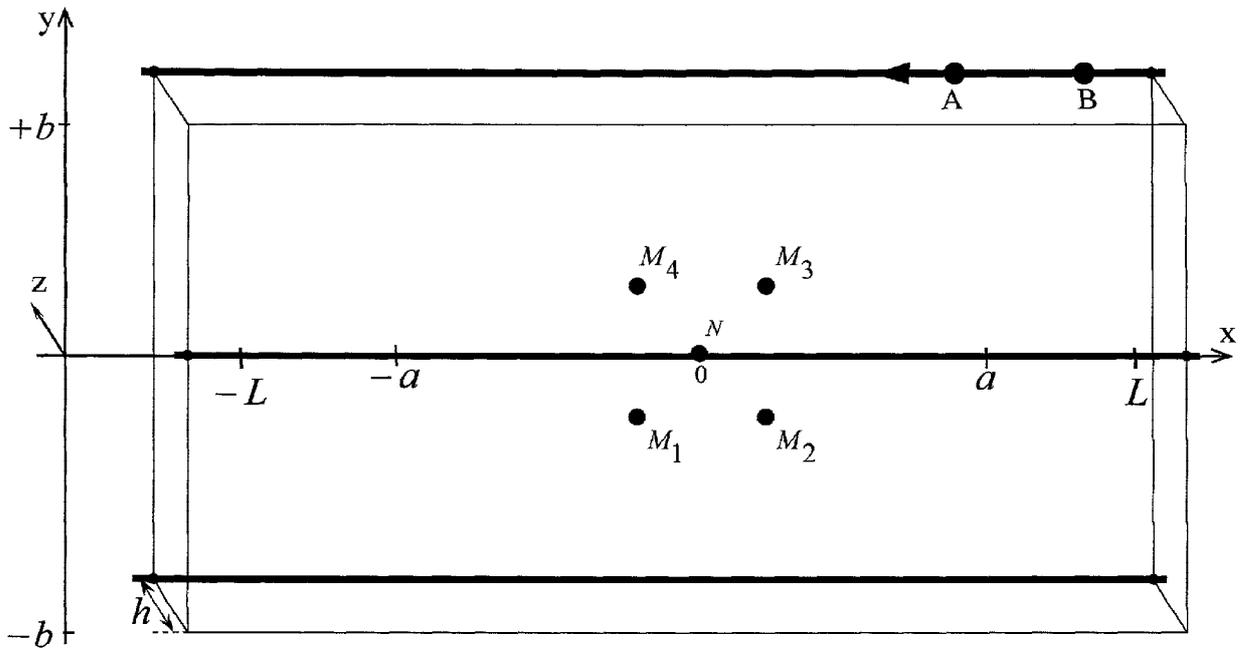
50



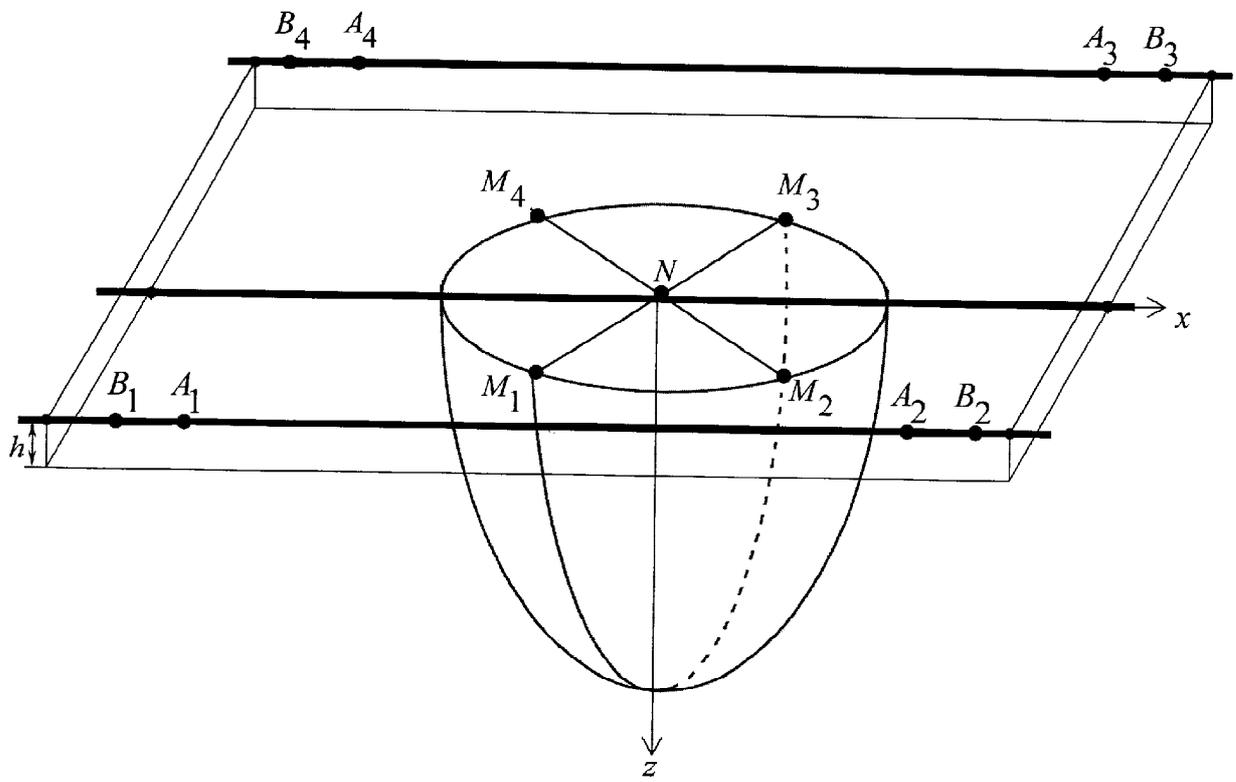
Фиг. 2



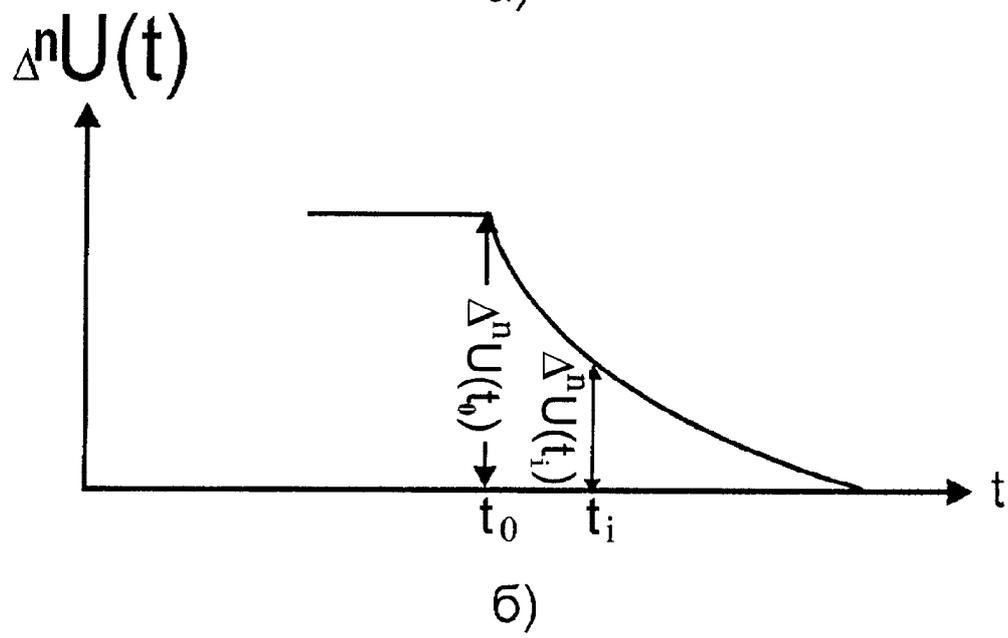
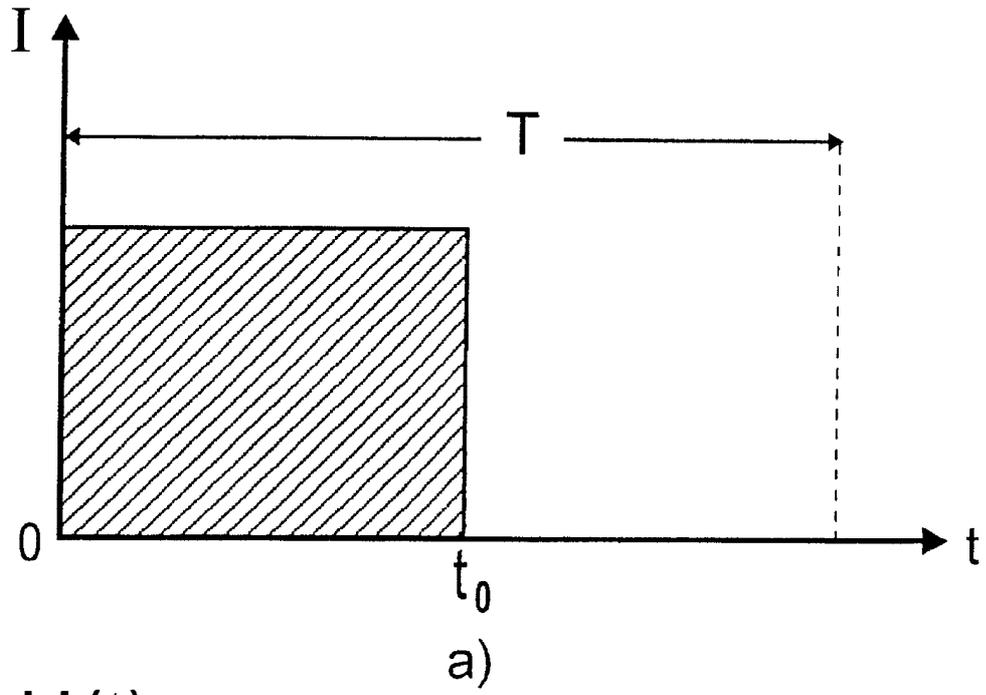
Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5



Фиг. 6