

ИМПУЛЬСНЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ КАРОТАЖ ИЗ ОБСАЖЕННЫХ СКВАЖИН

РАТУШНЯК А. Н., БАЙДИКОВ С. В., ТЕПЛУХИН В. К.

Исследованы возможности индукционного каротажа из обсаженных геологоразведочных скважин для определения удельного сопротивления горных пород с помощью индукционных импульсных зондирований (EMMR). Предложен компенсационный способ измерений с несимметричной питающей индукционной установкой, имеющей два магнитных диполя с различными по величине встречными моментами, компенсирующими вклад в измеряемое поле от проводящей обсадной колонны. Показана информативность измеряемой ЭДС спада несимметричной индукционной установки при определении удельного сопротивления среды в условиях скомпенсированного влияния проводящей обсадной колонны. Определена дальность исследований заколонного пространства в зависимости от размера установки. Компенсационный способ измерений с несимметричной питающей индукционной установкой позволяет определять удельное электрическое сопротивление вмещающей среды за обсадной колонной скважины по экстремальным значениям ЭДС, измеряемой на ограниченном спектре времен спада.

Ключевые слова: нестационарное электромагнитное поле; проводящая обсадная колонна; индукционные импульсные зондирования; квадрупольный индукционный источник.

Задачей исследований электромагнитными методами каротажа через обсадную колонну скважины является определение удельного электрического сопротивления пластов, продуктивных на углеводороды. Решение этой задачи позволяет выполнить оценку нефтенасыщенности пластов-коллекторов, определить текущее состояние выработки продуктивных пластов и уточнить положение невырабатываемых участков залежи.

В работах [1–3] описан способ индукционного каротажа, в котором сопротивление вмещающих пород за обсадной колонной скважины определяют по результату измерений осевой составляющей магнитной индукции, создаваемой гармоническим током в одновременно включаемых двух соосных генераторных индуктивных катушках различных встречных моментов, расположенных на разных расстояниях от измерительной катушки. Использование двух генераторных индуктивных катушек со встречными моментами позволяет скомпенсировать влияние проводящей обсадной колонны на измеряемое магнитное поле.

В настоящей работе изучена возможность применения индукционных импульсных зондирований при каротаже обсаженных скважин для определения удельного электрического сопротивления пород за обсадной колонной.

Новая технология индукционного каротажа по сравнению с методом электрического каротажа обладает рядом преимуществ:

- снижение экранирующего влияния стальной колонны;
- повышение точности измерения за счет фокусирования сигнала;
- исключение влияния перфорации колонны путем индуктивных возбуждения и измерения магнитного поля и отсутствия контактов электродов;

Ратушняк Александр Николаевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией. 620016, г. Екатеринбург, ул. Амурдсена, 100, Институт геофизики УрО РАН. E-mail: geo_info@mail.ru
Байдилов Сергей Владимирович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник. 620016, г. Екатеринбург, ул. Амурдсена, 100, Институт геофизики УрО РАН. E-mail: badikek@mail.ru

Теплухин Владимир Клавдиевич – доктор технических наук, руководитель отдела новых технологий. 452600, г. Октябрьский, Республика Башкортостан, ул. Садовое кольцо, 4А, ООО «ПетроТул-НБ». E-mail: teplukhin-v@yandex.ru

- отсутствие необходимости в проведении мероприятий по отчистке стенок скважины от парафиновых и прочих отложений;
- возможность применения в режиме непрерывной записи.

Нестационарное поле магнитного диполя в обсаженной скважине. Физико-геометрическая модель среды (рис. 1), неоднородная по удельной электрической проводимости, включает: скважину радиусом a , скважинный снаряд с удельной электропроводностью σ_1 ; вмещающие породы с удельной электропроводностью σ_2 ; обсадную колонну с удельной электропроводностью σ_c в виде цилиндрического слоя толщиной h . Цилиндрическую обсадную колонну, обладающую низким удельным электрическим сопротивлением, аппроксимируем S -слоем с продольной проводимостью $S = \sigma_c h = \text{const}$ при $\sigma_c \rightarrow \infty$, $h \rightarrow 0$ в виде тонкого цилиндра, находящегося на границе сред с удельными электропроводностями σ_1 и σ_2 .

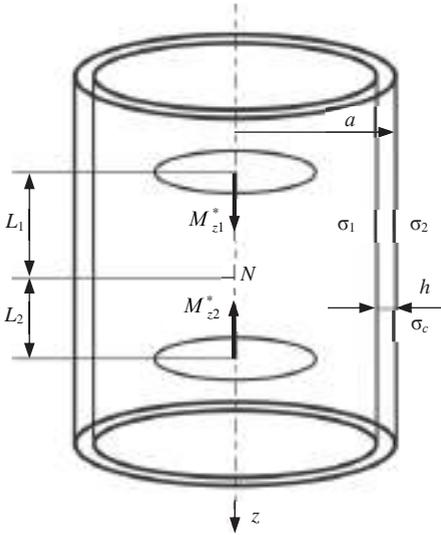


Рис. 1. Несимметричная квадрупольная установка соосных магнитных диполей с моментами M_{z1}^* и M_{z2}^* и обсадная колонна в виде проводящего S -слоя на границе скважина–среда

В работах [1, 2] для определения величины удельного электрического сопротивления среды через обсадную колонну скважины предложено использовать компенсационный способ измерений индукционными частотными зондированиями с несимметричной квадрупольной установкой, состоящей из двух магнитных диполей с различными моментами встречного направления вдоль оси Z скважины $M_{z1}^* \neq -M_{z2}^*$.

Оценим возможность решения этой задачи при импульсном режиме изменения тока в источниках. В точке измерений N , расположенной на оси скважины на различном расстоянии $L_1 \neq L_2$ между диполями, измеряется электродвижущая сила (ЭДС) магнитной индукции, создаваемая при одновременно включенных импульсных токах в источниках (рис. 1).

Оценим возможность решения этой задачи при импульсном режиме изменения тока в источниках. В точке измерений N , расположенной на оси скважины на различном расстоянии $L_1 \neq L_2$ между диполями, измеряется электродвижущая сила (ЭДС) магнитной индукции, создаваемая при одновременно включенных импульсных токах в источниках (рис. 1).

Перед проведением измерений в скважине проводят компенсацию вклада проводящей обсадной колонны в измеряемое поле. Компенсация заключается в подборе таких моментов M_{z1}^* , M_{z2}^* и расстояний L_1 , L_2 , чтобы измеряемая в точке N величина ЭДС при помещении установки внутрь обсадной колонны в воздухе была скомпенсирована (равна нулю). Если поместить установку в исследуемую обсаженную скважину и провести измерения в исследуемом интервале глубин, то за счет индукции и возникновения вихревых токов во вмещающей проводящей среде измеряемая величина ЭДС будет отличаться от нуля.

При импульсном режиме изменения тока в источнике в виде ступенчатой функции Хевисайда измеряемой величиной поля является вещественная компонента ЭДС, наводимая в измерительной катушке изменением потока магнитной индукции. Расчет временной характеристики ЭДС выполняется с помощью численного синус-преобразования Фурье для положительной части спектра частот $\omega \geq 0$ вещественной части поля [4]:

$$\varepsilon(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \text{Re} \varepsilon(\omega) \frac{\sin(\omega t)}{\omega} d\omega. \quad (1)$$

ЭДС, наводимая в одном витке измерительной катушки малой площади S_z по сравнению с размером установки L , изменяющимся магнитным полем, равна $\varepsilon(\omega) = -j\omega S_z B_z(\omega)$, следовательно $\operatorname{Re}\varepsilon(\omega) = \omega S_z \operatorname{Im}B_z(\omega)$ и временная характеристика ЭДС будет определяться с помощью синус-преобразования Фурье от мнимой квадратуры осевой составляющей магнитной индукции

$$\varepsilon(t) = \frac{2}{\pi} S_z \int_0^{\infty} \operatorname{Im}B_z(\omega) \sin(\omega t) d\omega. \quad (2)$$

Для режима спада поля после пропускания токового импульса длительностью T расчет проводится с помощью теоремы наложения $\varepsilon(T, t) = \varepsilon(T + t) - \varepsilon(t)$, где время t отсчитывается от момента выключения тока [5]. При больших временах зарядки T , когда магнитное поле устремляется к стационарному значению, ЭДС становления и спада равны по модулю и отличаются знаком $\varepsilon(T, t) = -\varepsilon(t)$.

В работах [2, 3] приведено решение задачи о гармоническом электромагнитном поле осевого магнитного диполя в цилиндрически-симметричной неоднородной среде с проводящим цилиндрическим S -слоем на границе сред с удельными электропроводностями σ_1 (пространство скважины) и σ_2 (среда). Электромагнитное поле определено с помощью вспомогательного вектор-потенциала магнитного типа, который в каждой из сред имеет вертикальную и радиальную составляющие. Осевая составляющая магнитной индукции в пространстве скважины на оси Z при $r = 0$ на расстоянии $z = L$ (разнос) от диполя описывается тремя слагаемыми

$$B_z = B_{zp} + B_{zc} + B_{zw}. \quad (3)$$

Для модели, представленной на рис. 1, когда в пространстве скважины находится скважинный прибор, являющийся диэлектриком ($\sigma_1 = 0$), слагаемые в (3) описывают соответственно:

B_{zp} – первичное поле диполя в непроводящей среде (скважине);

B_{zc} – поле стоячей волны в скважине, не зависящее от частоты и проводимости пород;

$$B_{zw} = \frac{\mu_0 M_z^*}{2\pi^2} \int_0^{\infty} \frac{\lambda^2 K_1(ma)}{I_1(\lambda a) G} \cos\lambda L d\lambda \quad \text{– поле бегущей волны,}$$

где $m^2 = \lambda^2 + j\omega\mu_0\sigma^2$; $G = \lambda a I_0(\lambda a) K_1(ma) + ma K_0(ma) I_1(\lambda a) + j\omega\mu_0 S a I_1(\lambda a) K_1(ma)$; I_0 , I_1 , K_0 , K_1 – модифицированные функции Бесселя и Макдональда порядков 0 и 1. На постоянном токе множитель $G = 1$ и $B_{zp} = -B_{zc}$; $B_z = B_{zw} = B_{zp}$.

Слагаемые B_{zp} и B_{zc} не зависят от частоты и проводимости пород σ_2 и являются вещественными величинами. Вклад от влияния электропроводности пород в формуле (3) поля бегущей волны в вещественную составляющую магнитного поля $\operatorname{Re}B_z$, которая определяется в основном первичным полем магнитного диполя и полем стоячей волны в скважине, очень мал [2, 3]. Информацию об электропроводности вмещающих пород дает мнимая квадратура осевой составляющей магнитного поля $\operatorname{Im}B_z$, которая описывается слагаемым B_{zw} . При нестационарном режиме источника поля измеряемая величина ЭДС спада, определяемая с помощью преобразования (2), также будет зависеть от электропроводности вмещающих пород и величины продольной проводимости цилиндрического S -слоя [6].

Анализ результатов расчетов поля. В работе [3] изложены исследования, посвященные определению величины удельного электрического сопротивления

среды по экстремуму ЭДС и по времени, соответствующему экстремуму, при интерпретации материалов индукционного каротажа с импульсным режимом источника поля в открытом стволе скважины. Для учета влияния проводящей промывочной жидкости, заполняющей пространство между скважинным прибором и стенкой скважины, предложено использовать поправки за ее влияние на измеряемую величину ЭДС спада.

При нестационарном режиме тока источника в непроводящей среде ($\sigma_1 = \sigma_2 = 0$ «воздух») для модели рис. 1 величина измеряемой ЭДС спада на фиксированном разnose L зависит от продольной проводимости S обсадной цилиндрической колонны и ее радиуса a . Расчеты спада ЭДС в обсадной колонне радиусом $a = 0,075$ м на разnose $L = 1$ м при различных величинах продольной проводимости S приведены на рис. 2. В силу линейности примем $M_{z1}^* = 1 \text{ А} \cdot \text{м}^2$, а также площадь измерительной катушки $S_e = 1 \text{ м}^2$.

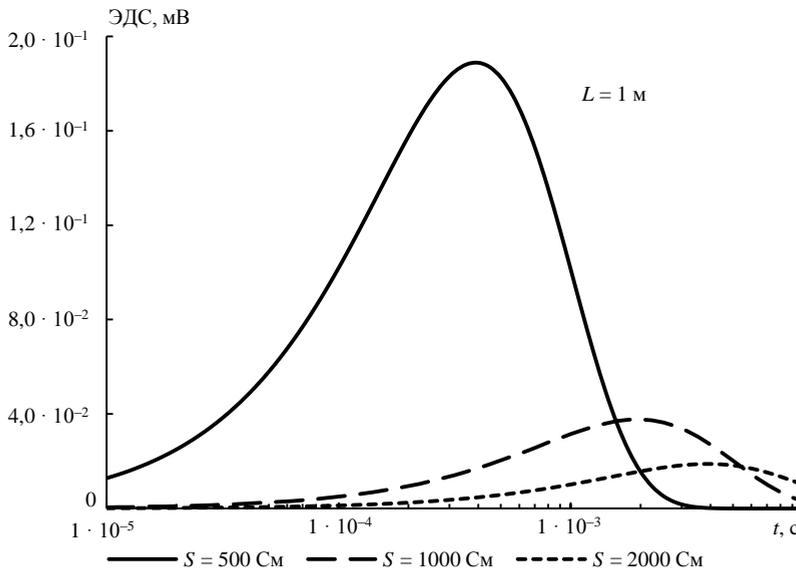


Рис. 2. Кривые спада ЭДС в скважине с обсадной колонной диаметром $d = 0,15$ м в непроводящей среде на разnose $L = 1$ м

Экстремальные значения величины ЭДС и время экстремума ЭДС определяются значениями продольной проводимости S и радиусом обсадной колонны. Время, соответствующее экстремуму ЭДС, увеличивается пропорционально величине продольной проводимости S , а величина самого экстремума ЭДС увеличивается обратно пропорционально величине S .

Измерения в проводящей обсадной колонне, находящейся в воздухе, при гармоническом и импульсном режимах изменения тока источника имеют существенные отличия. При гармоническом режиме изменения тока для всех величин S измеряемая составляющая магнитного поля $\text{Im}B_z$ достигает постоянного экстремального значения, соответствующего однородной безграничной проводящей среде, в безразмерном виде магнитного числа равного $h_z = 2\pi L^3 B_z / \mu_0 M_z^* = -0,5344$ [2, 3]. При этом с импульсным режимом изменения тока величина экстремума измеряемой величины ЭДС, как видно на рис. 2, линейно зависит от величины продольной проводимости S .

Примем фиксированную величину продольной проводимости обсадной колонны $S = 2 \cdot 10^3$ См, что соответствует удельной электропроводности металла

обсадной трубы $\sigma_c = 2 \cdot 10^5$ См/м и толщине $h = 0,01$ м. При измерениях ЭДС спада в условиях обсаженной скважины с одним магнитным диполем величина вклада в величину измеряемого сигнала ЭДС от проводящих пород существенно меньше, чем вклад от проводящей колонны с большой продольной проводимостью. Определение удельного сопротивления пород без компенсации вклада от проводящей обсадной колонны затруднительно ввиду малости полезной части сигнала ЭДС.

Отметим общую особенность поля квадрупольной установки при гармоническом или импульсном режимах тока источника. В обоих случаях при очень больших значениях продольной проводимости S -слоя исследуемая модель будет представлять собой открытый идеальный волновод. Электромагнитное поле, представляющее собой сумму первичного поля диполя, стоячей и бегущей волн, будет определяться в основном только свойствами среды, заполняющей внутреннее пространство и радиусом волновода. За счет явления скин-эффекта в почти идеальном S -слое вклад в измеряемое электромагнитное поле от индукции поля в проводящей окружающей среде будет очень мал.

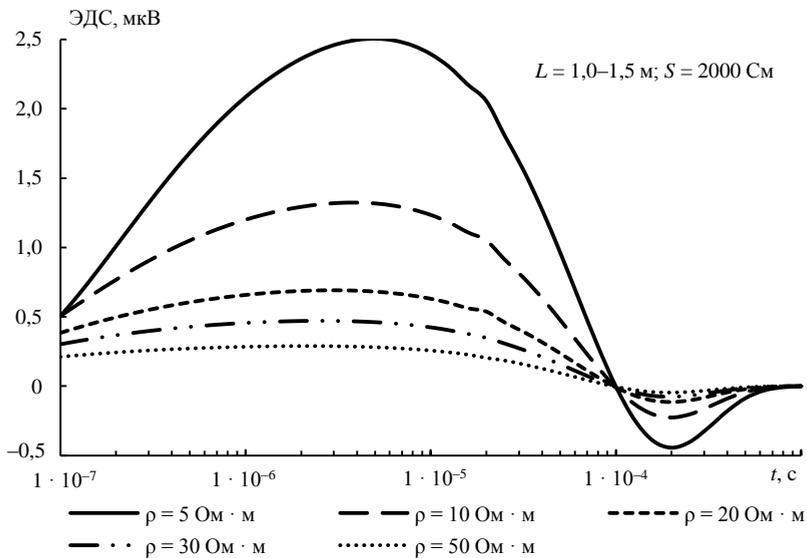


Рис. 3. Спад ЭДС с несимметричной квадрупольной установкой $L_{12} = 1,0-1,5$ м в обсадной колонне диаметром $d = 0,15$ м с продольной проводимостью $S = 2000$ См

Для компенсации вклада проводящей обсадной колонны в измеряемое поле в работах [1–3] предложено использовать несимметричную квадрупольную установку, состоящую из двух магнитных диполей с различными моментами встречного направления вдоль оси Z скважины. Компенсация влияния колонны достигается использованием конструкции квадрупольной установки с подбором таких величин встречных моментов диполей и их разносами относительно точки измерений в условиях обсадной колонны, чтобы измеряемая величина ЭДС спада в непроводящей среде (в воздухе) равнялась нулю. В случае помещения установки в исследуемую обсаженную скважину измеряемая величина ЭДС будет отличаться от нуля за счет индукции и возникновения вихревых токов во вмещающих проводящих породах.

Величина ЭДС уменьшается с увеличением длины зонда пропорционально L^{-3} . Для компенсации влияния S -слоя на измеряемую величину ЭДС

соотношение моментов диполей встречного направления при равных величинах радиусов катушек должно быть равно $M_{z1}^* / M_{z2}^* = (J_1 v_1) / (J_2 v_2)$, где J_{12} – сила тока, v_{12} – число витков катушек. При заданных конструкции установки с фиксированными целыми числами витков v_1 , v_2 и расстояниях между катушками и точкой измерений L_{12} точная компенсация на временах, близких к экстремуму ЭДС, достигается прецизионной регулировкой силы тока в одном из магнитных диполей.

На рис. 3 приведены кривые ЭДС на оси скважины при $a = 0,075$ м; $S = 2 \cdot 10^3$ См в зависимости от различного удельного электрического сопротивления вмещающей среды для квадрупольной установки с разносами $L_{12} = 1,0-1,5$ м в условиях скомпенсированного вклада проводящей обсадной колонны. Различия амплитуд кривых ЭДС (величин максимума и минимума) обусловлены различным удельным электрическим сопротивлением вмещающей среды в заколонном пространстве. Времена, соответствующие экстремальным величинам ЭДС, определяются только характеристиками обсадной колонны: радиусом a и продольной проводимостью S (толщиной h и удельной электропроводностью колонны).

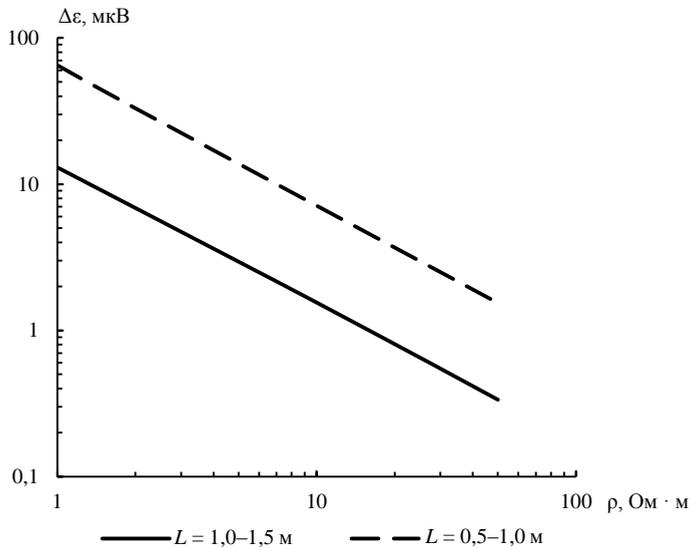


Рис. 4. Зависимость размаха ЭДС спада $\Delta \epsilon(t)$ от ρ среды для диаметра колонны $d = 0,15$ м при $S = 2 \cdot 10^3$ См для установок с разносами L

Сравнивая разрешающие возможности индукционных исследований при гармоническом или импульсном режимах тока источника (рис. 3, рис. 4), следует отметить их общие ограничения, связанные с уменьшением величины измеряемого сигнала при увеличении удельного сопротивления вмещающей среды. Эти ограничения связаны с использованием компенсационного способа измерений. По мере уменьшения величины продольной проводимости S -слоя разрешающая способность метода увеличивается.

Величину ρ среды удобно определять по величине максимума ЭДС спада на характерном времени или по размаху амплитуды поля $\Delta \epsilon(\rho) = \epsilon(\max) - \epsilon(\min)$, графики которой приведены на рис. 4 при $a = 0,075$ м; $S = 2 \cdot 10^3$ См с сочетаниями разносов $L_{12} = 1,0-1,5$ и $L_{12} = 1,5-2,5$ м. Величина размаха амплитуды поля $\Delta \epsilon$ и разрешение по удельному электрическому сопротивлению ρ вмещающей среды в заколонном пространстве увеличивается по мере уменьшения размера несим-

метричной компенсационной установки. Однако при этом требуется более точная компенсация поля от проводящей обсадной колонны в точке измерений.

Оценим степень экранирования (ослабления) электромагнитного поля проводящим S -слоем по величине азимутальной составляющей электрического поля E_φ , наводимой изменяющимся магнитным полем за цилиндрическим S -слоем. Временную характеристику электрического поля $E_\varphi(t)$ получим, выполнив численное преобразование Фурье от частотной зависимости $E_\varphi(\omega)$ по формуле, подобной (1).

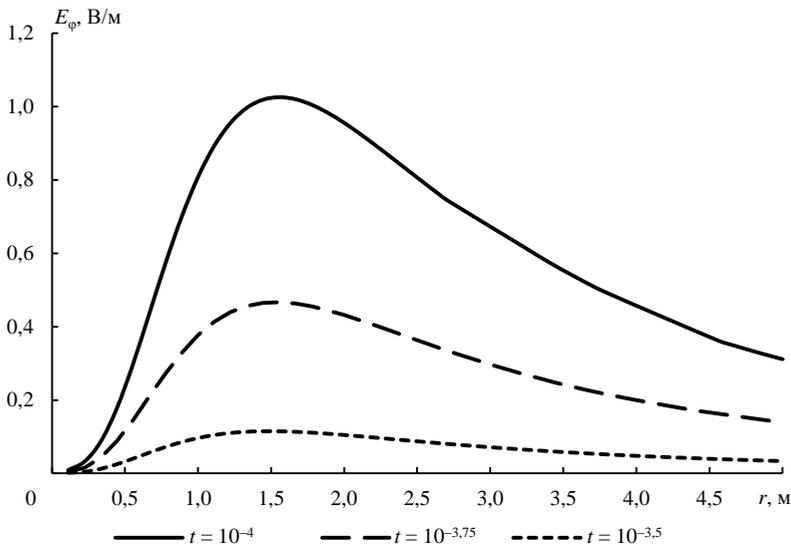


Рис. 5. Зависимость напряженности электрического поля E_φ от несимметричной квадрупольной установки $L_{12} = 1,0-1,5$ м за обсадной колонной диаметром $d = 0,15$ м с продольной проводимостью $S = 2 \cdot 10^3$ См; t , с — время спада ЭДС

Зависимости $E_\varphi(t)$ на линии измерительной катушки $z = 0$ с увеличением расстояния r по радиусу от оси скважины приведены на рис. 5 на трех временах t спада ЭДС (шифр кривых). Расчеты выполнены для размеров квадрупольной индукционной установки $L_{12} = 1,0-1,5$ м при удельном электрическом сопротивлении среды $\rho = 10$ Ом \cdot м в проводящей обсадной колонне диаметром $d = 0,15$ м с продольной проводимостью $S = 2 \cdot 10^3$ См.

В районе трубы при условии возбуждения магнитных полей встречно-направленными магнитными диполями происходит компенсация компоненты $E_\varphi(t)$. На расстоянии r , превышающем радиус обсадной колонны a , электрическое поле отличается от нуля, что создает условия появления вихревых токов в окружающем проводящем пространстве. Величины полумаксимумов напряженности электрического поля наблюдаются на расстояниях r от 0,75 до 3,5 м от оси скважины, а максимум — на расстоянии, близком к разному удаленного магнитного диполя $r = 1,5$ м. Уменьшение размера квадрупольной установки $L_{12} = 0,5-1,0$ м приводит к увеличению компоненты $E_\varphi(t)$ пропорционально L^{-3} , при этом положение максимума смещается на расстояние, равное разному удаленного магнитного диполя $r = 1,0$ м.

Приведенные результаты характеризуют дальность исследований в радиальном направлении от оси скважины с компенсационной установкой.

Таким образом, определение удельного сопротивления пород в заколонном пространстве обсаженных скважин возможно с помощью компенсационного

способа измерений с применением квадрупольной индукционной установки с импульсным режимом тока. Компенсационный способ измерений с несимметричной питающей индукционной установкой позволяет определять удельное электрическое сопротивление вмещающей среды за обсадной колонной скважины по экстремальным значениям величин ЭДС, измеряемой на ограниченном спектре времен спада.

Работа выполнена при частичной поддержке программы фундаментальных исследований УрО РАН (проект № 18-5-5-38).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Способ индукционного каротажа из обсаженных скважин и устройство для его осуществления: пат. 2614853 Рос. Федерация № 2015107806; заявл. 05.03.2015; опубл. 29.03.2017. Бюл. № 10. 10 с.
2. Ратушняк А. Н., Байдилов С. В., Теплухин В. К. Индукционный каротаж в обсаженных скважинах // Уральский геофизический вестник. 2016. № 2 (28). С. 98–107.
3. Ратушняк А. Н., Теплухин В. К. Теоретические и экспериментальные основы индукционных методов исследований скважин. Екатеринбург: УрО РАН, 2017. 127 с.
4. Ваньян Л. Л. Основы электромагнитных зондирований. М.: Недра, 1965. 109 с.
5. Атабеков Г. И. Теоретические основы электротехники. Ч. 1. Линейные электрические цепи. М.: Энергия, 1978. 592 с.
6. Способ импульсного индукционного каротажа из обсаженных скважин: заявка на пат. № 2017140399, 2017.
7. Шейнманн С. М. Об установлении электромагнитных полей в земле // Прикладная геофизика. 1947. Вып. 3. С. 3–55.
8. Ваньян Л. Л. Основы электромагнитных зондирований. М.: Недра, 1965. 109 с.
9. Уэйт Дж. Р. Геоэлектромагнетизм. М.: Недра, 1987. 235 с.

Поступила в редакцию 28 февраля 2018 года

PULSE INDUCTIVE ELECTRO-MAGNETIC LOGGING IN CASED WELLS

Ratushniak A. N., Baidikov S. V. – Geophysical Center of RAS, Ekaterinburg, the Russian Federation. E-mail: geo_info@mail.ru

Teplukhin V. K. – Petrotool LLC, Oktyabrsky, Republic of Bashkortostan, the Russian Federation. E-mail: teplukhin-v@yandex.ru

The possibilities of inductive electro-magnetic logging from cased exploration wells for the determination of specific resistivity of rocks by means of induction pulse sounding (EMMR) are investigated. A compensating measurement method with an asymmetrical feeding induction installation with two magnetic dipoles with different counterparts in the magnitude compensating for the contribution to the measured field from the conducting casing string is proposed. It is shown that the measured EMF of the asymmetric induction plant is informative in determining the specific resistance of the medium under conditions of compensated influence of the conducting casing string. The range of studies of the cavernous space is determined depending on the size of the installation. The compensation method of measurements with an asymmetrical feeding induction installation makes it possible to determine the specific electrical resistance of the enclosing medium behind the casing string of the well according to the extreme values of the EMF values measured on a limited spectrum of the decay times.

Key words: nonstationary electromagnetic field; conductive casing string; induction pulse sensing; quadrupole induction source.

REFERENCES

1. Ratushniak A. N., Teplukhin V. K., Naianzin A. N. *Sposob induktsionnogo karotazha iz obsazhennykh skvazhin i ustroystvo dlia ego osushchestvleniia* [Method of inductive electro-magnetic logging in cased wells and facility for its realization]. Patent RF, no. 2614853, 2017.
2. Ratushniak A. N., Baidikov S. V., Teplukhin V. K. [Inductive electro-magnetic logging in cased wells]. *Ural'skii Geofizicheskii Vestnik – Ural Geophysical Bulletin*, 2016, no. 2 (28), pp. 98–107. (In Russ.)
3. Ratushniak A. N., Teplukhin V. K. *Teoreticheskie i eksperimental'nye osnovy induktsionnykh metodov issledovaniia skvazhin* [Theoretical and experimental fundamentals of inductive methods of wells exploration]. Ekaterinburg, UB RAS Publ., 2017. 127 p.
4. Van'ian L. L. *Osnovy elektromagnitnykh zondirovaniia* [Fundamentals of electro-magnetic sounding]. Moscow, Nedra Publ., 1965. 109 p.
5. Atabekov G. I. *Teoreticheskie osnovy elektrotekhniki. Ch. 1. Lineinye elektricheskie tsepi* [Theoretical fundamentals of electric engineering. Pt. 1. Linear electric circuits]. Moscow, Energiia Publ., 1978. 592 p.

6. Teplukhin V. K., Ratushniak A. N. *Sposob impul'snogo induktsionnogo karotazha iz obszhennykh skvazhin* [Method of pulse inductive electro-magnetic logging in cased wells]. Patent RF application, no. 2017140399, 2017.
 7. Sheinmann S. M. [Regarding the establishment of electro-magnetic fields in the ground]. *Prikladnaia geofizika – Applied Geophysics*, 1947, issue 3, pp. 3–55. (In Russ.)
 8. Van'ian L. L. *Osnovy elektromagnitnykh zondiroviii* [Fundamentals of electro-magnetic sounding]. Moscow, Nedra Publ., 1965. 109 p.
 9. Wait R. J. *Geoelektromagnetizm* [Geoelectromagnetism. Transl. from English]. Moscow, Nedra Publ., 1987. 235 p.
-