

МОДЕЛИРОВАНИЕ СКВАЖИННОЙ АППАРАТУРЫ НА ТОРОИДАЛЬНЫХ КАТУШКАХ

Манштейн А.К., Карин Ю.Г.

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск

В работе рассмотрены различные варианты скважинной аппаратуры, использующие тороидальные катушки в качестве генерирующей или регистрирующей части прибора. В большинстве рассмотренных нами патентов представлены общие принципы или основная идея конструкции аппаратуры в совокупности с методом исследования или же без него, которые могут быть использованы только теоретически, но не для непосредственных измерений в скважине, поскольку не везде предусмотрена защита электронных устройств и электрических элементов от воздействия внешней среды. В Институте нефтегазовой геологии и геофизики была разработана и испытана конструкция позволяющая реализовать один из вариантов такой аппаратуры.

Ключевые слова: скважинная аппаратура, тороидальные катушки.

Тороидальные катушки получили широкое распространение в приборостроении, в том числе и для создания скважинной аппаратуры. Помимо всего прочего тороидальные трансформаторы применяются и для телеметрии, передачи данных и управления скважинными приборами на глубине. Одно из рассматриваемых изобретений скважинный индукционный резистивиметр [1] (рис.1.), имеющий достаточно простую конструкцию, содержащую две тороидальные катушки в корпусе. Генераторная катушка (1) возбуждает ток в растворе, который находится внутри прибора в специальном канале. Величина тока пропорциональна сопротивлению бурового раствора, и этот ток индуцирует э.д.с. в приёмной катушке (2).

Еще один вариант [2] схематично показанный на рис.2 состоит из четырех катушек, расположенных на полой металлической трубе. Две крайние катушки генераторные 30 и 31 включены последовательно, внутренние катушки 32, 33 измерительные. Каждая приемная катушка подключена к регистратору 51. Металлический корпус 20 соединен со стенками скважины пружинящими электродами 44, 45 для обеспечения определенной длины зонда. Приемные катушки расположены симметрично относительно двух генераторных катушек и на достаточно близком расстоянии, таким образом, что когда обе генераторные катушки включены в одном направлении, а приёмные навстречу друг другу, то суммарный сигнал будет стремиться к нулю, так достигается компенсация прямого поля в полупространстве. В случае, когда зонд находится на границе двух сред, сумма сигналов приемных катушек будет отличной от минимального сигнала в полупространстве. Токи ниже и выше приемников компенсируются в области между приемниками 32 и 33 в случае, когда генераторы включены навстречу друг другу. Измерение общего тока проходящего через приемники 32 и 33 служит для определения истинного сопротивления формации с минимальным влиянием скважины и солёности бурового раствора.

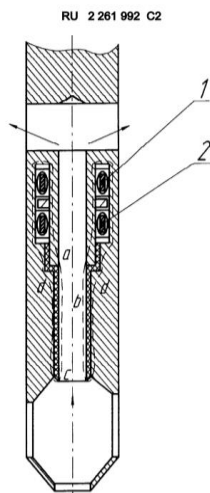


Рис. 1. Скважинный индукционный резистивиметр.

Разработанная в лаборатории электромагнитных полей ИНГГ СО РАН модель зонда сочетает особенности конструкций двух выше описанных разработок. Модель была испытана в лабораторных условиях. Выполнены эксперименты по изучению зависимости генераторных токов и напряжения в приемной катушке от изменения сопротивления среды и оценена чувствительность прибора. На рис.4 показаны зависимости напряжений на выводах приёмной катушки для различных частот при погружении макета в испытательный бак с УЭС раствора 1 Ом·м (модель однородного слоя рис.3). Стенки бака гидроизолированы, а скважина обсажена асбестоцементной трубой. Высокоомная вмещающая среда не оказывает влияния на регистрируемый сигнал. До глубины 100 см наблюдается рост разности потенциалов на выводах приёмной катушки по мере увеличения площади контакта жидкости с корпусом прибора, а глубже 100 см уровень сигнала понижается, что свидетельствует о влиянии дна бака. Рост сигнала на глубинах с 170 по 230 см приурочен к устью скважины. После полного погружения прибора в скважину наблюдается относительно стабильный уровень сигнала из-за отсутствия влияния вмещающей среды и изменений параметров жидкости.

Для оценки чувствительности зонда к изменениям сопротивления вмещающей среды, при постоянном низком сопротивлении скважинной жидкости, был выполнен специальный сухой эксперимент. К крайним точкам корпуса модели прибора, который содержал одну измерительную и одну генераторную катушки, были подключены два параллельно соединенных резистора. Основываясь на известных свойствах вертикального электрического диполя для двухслойной цилиндрической модели примем, что измеряемое зондом кажущееся сопротивление будет близко к сопротивлению бурового раствора при отношении $Z/\lambda \leq 2$ [3]. Z – длина области зонда, с которой токи стекают только в буровой раствор, а λ – диаметр скважины. Таким образом, первый резистор имеет постоянный номинал 4,9 Ом и имитирует сопротивление бурового раствора (сопротивление токовой линии) со значением УЭС 1 Ом·м. Аналогично, при соотношении $Z/\lambda \geq 4$ кажущееся сопротивление будет соответствовать сопротивлению вмещающей среды [3], здесь Z – область корпуса прибора, токи с которой стекают во вмещающую среду. Следовательно, сопротивление токовой линии (и номинал второго резистора) для вмещающей среды будет меняться от 36 до 251 Ом. Что сравнимо с изменением УЭС пласта от 2 до 14 Ом·м. Результаты эксперимента на рис.5 показывают, что во всем диапазоне частот (10-250 кГц) прибор позволяет регистрировать изменения вмещающей среды на фоне постоянно низких значений УЭС скважинной жидкости.

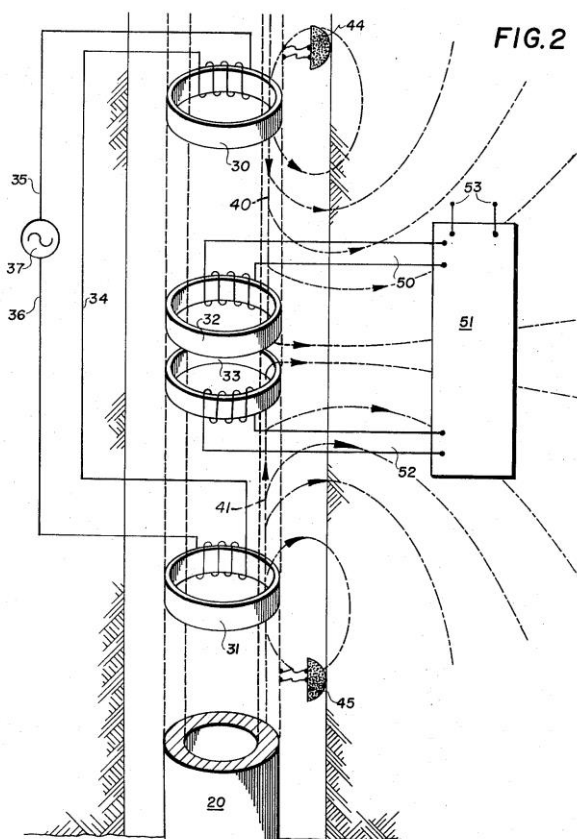


Рис.2. Аппаратура индуктивно-резистивного каротажа с тороидальными катушками, размещёнными на металлическом сердечнике

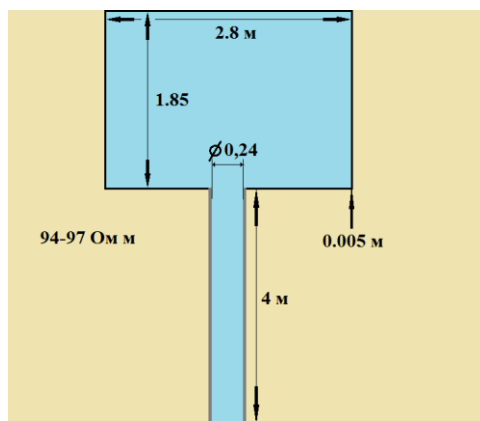


Рис. 3. Схема бака, модель однородного слоя и скважины

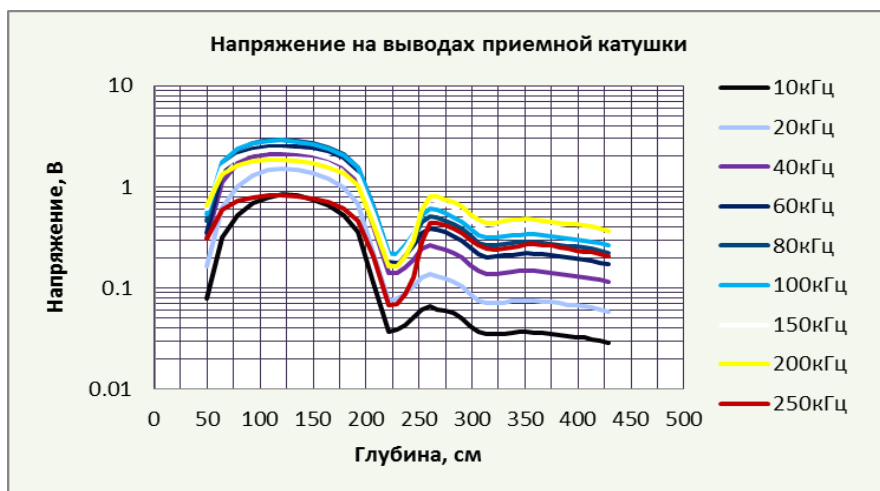


Рис.4. Зависимость напряжения на выводах приёмной катушки от глубины погружения и частоты

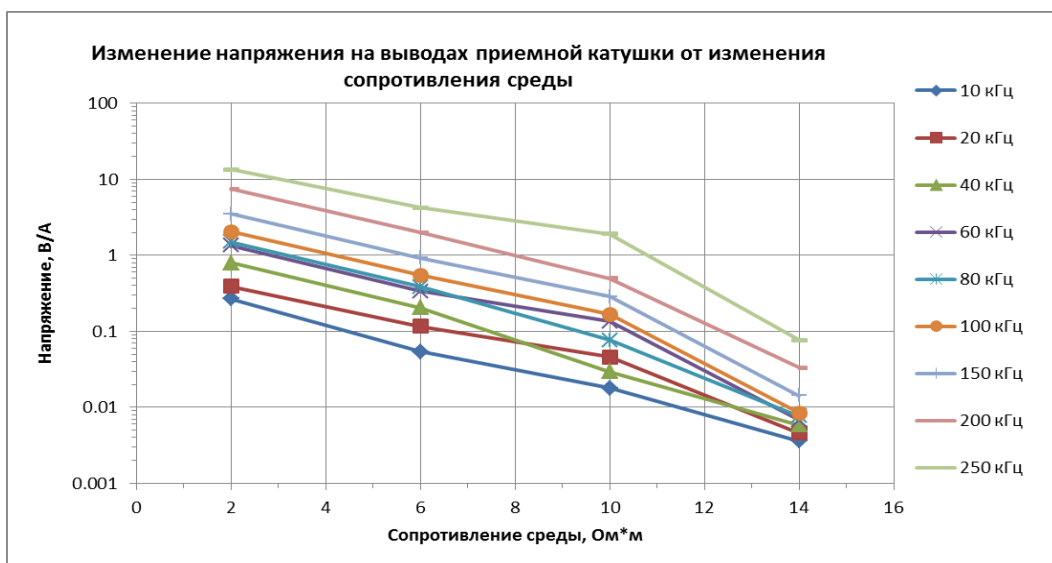


Рис.5. Зависимости изменения напряжения на выводах приёмной катушки от сопротивления среды для разных частот

2. Jan J. APRS, Inductive resistivity guard logging apparatus including toroidal coils mounted on a conductive stem // US №3305771, 1967.
3. Светов Б.С., Основы геоэлектрики.// М.: Издательство ЛКИ, 2008, С.404.