

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.832.9

Совершенствование геофизической технологии локации муфтовых соединений обсадных колонн нефтегазовых скважин

В.К. Теплухин^а, А.Н. Ратушняк^б

^аООО НПФ «Лидер»

452614, Октябрьский, ул. Губкина, 14. E-mail: teplukhin-v@yandex.ru

^бИнститут геофизики УрО РАН,

620016, Екатеринбург, ул. Амундсена, 100. E-mail: geo_info@mail.ru

(Статья поступила в редакцию 18 января 2024 г.)

Рассмотрена методика существенного совершенствования технологии метода локации муфтовых соединений обсадных колонн, заключающегося в искусственном намагничении интервалов обсадных колонн до состояния магнитного насыщения при проведении каротажа с целью полного исключения влияния помех, представляющей основной интерес при проведении комплекса геофизических исследований (ГИС) нефтяных и нефтегазовых скважин.

Ключевые слова: геофизические исследования нефтегазовых скважин, локатор муфт обсадных колонн, источники постоянного магнитного поля, индукционные методы исследований.

DOI: 10.17072/psu.geol.23.2.145

Введение

Метод локации муфтовых соединений обсадных колонн нефтяных и нефтегазовых скважин основан на принципе электромагнитной индукции в проводниках электрического тока.

При исследованиях регистрируются изменения электрической проводимости и магнитной проницаемости в металле обсадной колонны вследствие нарушения их

однородности. Измерения выполняются устройством локатора муфт (рис. 1), датчик которого представляет собой дифференциальную магнитную систему, состоящую из генераторной катушки и двух приемных катушек с общим сердечником, создающих в металле колонны магнитное поле, изменение которого вызывает комплекс вихревых токов, и их магнитное поле фиксируется приемными катушками, включенными дифференциально.

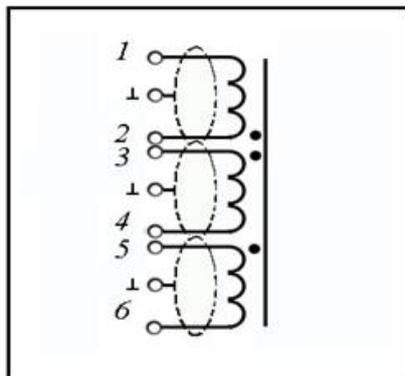


Рис. 1. Схема намотки катушек: 1–2 и 5–6 – входы приёмных, 3–4 – входы генераторной

В настоящее время в составе комплекса ГИС широко применяется стандартный локаатор соединительных муфт (Половко и др., 2002). Наземная часть его содержит блоки обработки телеметрической информации, поступающей с каротажного кабеля, и компьютер-регистратор. Скважинный прибор включает в себя ряд (n) индукционных преобразователей, подключенных к устройству обработки информации, которое состоит из $n/2$ дифференциальных усилителей, суммирующего устройства, $n+1$ аналоговых ключей, контроллера, аналого-цифрового преобразователя, передатчика на наземную каротажную станцию. При этом индукционные преобразователи укреплены посредством немагнитных вставок по диаметру прибора.

В работе данного устройства не учитывается вращение прибора вокруг продольной оси при движении, попеременный отрыв и соприкосновение индукционных преобразователей со стенкой обсадной трубы. По этой причине происходит появление ложных сигналов, схожих с сигналами от соединительных муфт.

В данном решении локаатор муфт представляет собой достаточно громоздкую систему, сложную в промышленной эксплуатации, а также не учитывающую появление интервалов вариаций значений величины магнитной проницаемости металла трубы.

Известны также способы локации муфтовых соединений и перфорационных отверстий (Пермяков, Ходаковский, Петрусова, Мельников, 2020), основанные на статистическом подборе наиболее достоверных данных, а именно данных с наиболее приближенных к стенке обсадной трубы преобразователей, при этом выбор преобразователей происходит с помощью данных, полученных от устройства для определения положения прибора относительно скважины; а также повышение точности и достоверности индикации муфт обсадных труб за счет физического разнесения индукционных преобразователей для индукционного преобразователя для индикации соединительных муфт.

Поставленная задача в способе [1] решается за счет того, что локаатор соединительных муфт обсадных ферромагнитных труб состоит из управляющего микроконтроллера,

устройства для определения положения прибора в пространстве (например, гироскопа или акселерометра), локатора муфт, при этом локаатор муфт содержит один индукционный преобразователь, расположенный в центре прибора и сопоставимый по диаметру с корпусом прибора, что в совокупности значительно снижает его чувствительность вплоть до исключения их влияния.

В варианте [2] также совершенно не учитываются основные мешающие факторы (магнитные неоднородности тела обсадной колонны), часто приводящие к интенсивным вариациям магнитной проницаемости металла труб.

На практике применяется одна из модификаций локатора муфт, которая представляет собой упрощенную дифференциальную магнитную систему, состоящую из многослойной катушки с сердечником и двух относительно слабых постоянных магнитов, установленных с целью создания в катушке и вокруг нее слабого постоянного магнитного поля.

При перемещении данного локатора вдоль колонны в местах нарушения однородности колонны (к примеру, утолщения муфтового соединения) происходит изменение параметров (амплитуда) вихревых токов, обусловленное повышенной объемной проводимостью интервала муфтового соединения, и, соответственно, магнитного потока через обмотки приемных катушек, что также приводит к индуцированию в измерительных катушках ложных импульсов ЭДС.

На качество измерения основное влияние оказывают вариации величины магнитной проницаемости металла колонны, обусловленные двумя основными причинами:

- развитие процессов коррозии металла, когда в структуре металла появляются очаги окислов, частично нарушающие систему ориентировки магнитных доменов;
- изменение геометрических параметров колонны при воздействии внешнего разнотемпературного давления со стороны массива вмещающих горных пород, что также приводит к нарушению комплексной ориентировки магнитных доменов, определяющих значение величины магнитной

проницаемости металла. В том случае, если нет вариаций величины магнитной проницаемости металла труб ($\mu_{\text{отн}} = \text{const}$), эффект на интервале муфтового соединения проявляется контрастно знакопеременным эффектом (резко меняется значение объемной σ металла) на относительно спокойном фоне (приемные катушки включены дифференциально) протяженного участка безмуфтового интервала трубы.

В тех случаях, если одна из причин вариаций μ присутствует, появляется высокий уровень интенсивных помех сигнала, на фоне которого эффекты от муфтовых соединений труб при каротаже стандартными локаторами муфт практически не различимы, и запись ЛМ становится совершенно нечитаемой. Идентификация муфтовых соединений возможна только по записи СГДТ (рис. 3).

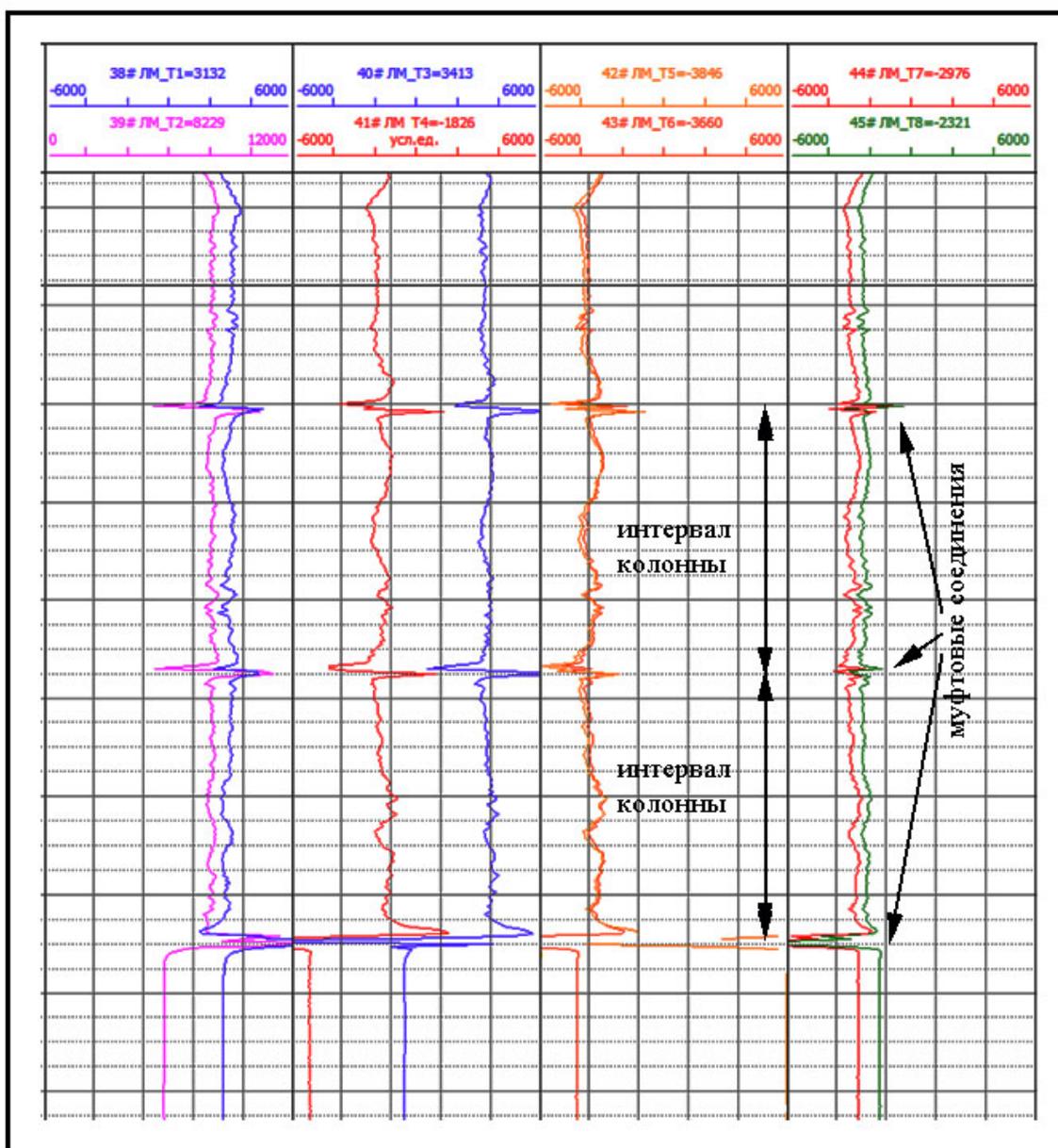


Рис. 2. Помехи, обусловленные неоднородностью магнитной проницаемости, отсутствуют. Эффекты от муфтовых соединений фиксируются надежно (материалы Д.Р. Шакуров, АО «Башнефтегеофизика»)

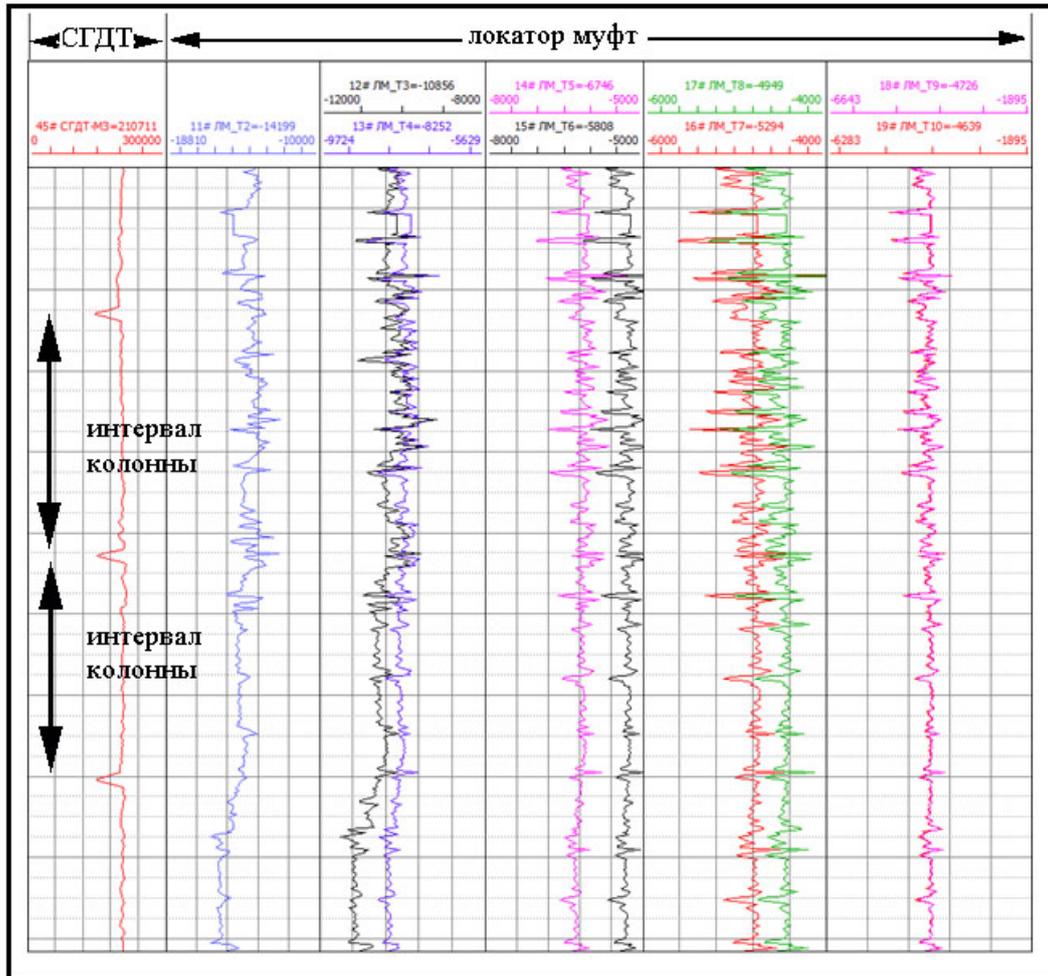


Рис. 3. Помехи, обусловленные неоднородностью магнитной проницаемости металла труб, есть. Эффекты от муфтовых соединений (материалы Д.Р. Шакуров, АО «Башнефтегеофизика»)

Цель предлагаемого технического решения – повышение помехоустойчивости технологии локации муфтовых соединений обсадных колонн при проведении геофизических исследований.

Поставленная цель достигается тем, что исследуемый интервал колонны с помощью локатора муфт подвергается намагничению до уровня насыщения («кривая А.Г. Столетова» – график зависимости магнитной восприимчивости от напряжённости магнитного поля в ферромагнетике) (Яворский и др., 2006). При определенных больших значениях внешнего магнитного поля его величина не будет влиять на изменение намагниченности металла колонны, и происходит магнитное насыщение.

Насыщение обусловлено тем, что случайное расположение структуры молекулы в материале ядра (магнитные домены)

изменяется, когда молекулярные домены в материале становятся «выстроенными».

По мере увеличения напряженности магнитного поля (Н) эти молекулярные магниты становятся более выровненными, пока они не достигнут идеального выравнивания, создавая максимальную плотность потока, и любое увеличение напряженности магнитного поля из-за увеличения электрического тока, протекающего через катушку, будет мало или вообще не будет иметь эффекта.

Практически текущее значение величины относительной магнитной проницаемости металла трубы становится равным 1 ($\chi = 0$), что и приводит к значению единицы μ не только на интервалах неизменной обсадной колонны, но и в интервалах колонны, подвергшихся коррозии или внешнему давлению со стороны вмещающих горных пород.

Чтобы на практике достичь эффекта магнитного насыщения, необходимо создать на интервалах измерения приемными катушками локатора муфт, включенными дифференциально, постоянное магнитное поле индукцией порядка 1,2–1,6 Т.

При этом постоянное магнитное поле любого источника намагничивания практически не создает помех индукционной природы на измерения соленоидными приемными катушками.

Создание магнитного поля с таким значением индукции возможно двумя способами.

1. Применение постоянных магнитов. Для такой задачи возможно применение магнитов ниодимовых (Nd), которые создают магнитные поля с индукцией порядка 1,2–1,6 Т и при этом практически не теряют своих свойств при высоких температурах – до 150 °С. Одним из основных достоинств применения ниодимовых постоянных магнитов для решения поставленной задачи является отсутствие энергозатрат при их эксплуатации, что важно при проведении скважинных исследований.

2. Применение электромагнита, представляющего собой плотно намотанные витки провода, которые функционируют как магниты при прохождении электрического тока. Известно, что полярность и напряженность магнитного поля, создаваемого электромагнитом, можно регулировать, изменяя направление и величину тока, протекающего через провод. Основным сердечником для усиления магнитного поля является

ферритовый сердечник (рис. 4) из магнитомягкого ферромагнитного материала.

Таким образом, предложен эффективный технологичный способ и малогабаритное автономное устройство, основанное на этом способе, повышение помехоустойчивости эксплуатации локатора муфт обсадных колонн в интервалах высоких вариаций магнитной восприимчивости металла колонн, вызванных различными причинами.

Поставленная задача решается одним из следующих приемов:

1. В локаторе муфтовых соединений на двух интервалах приемных соленоидов устанавливаются дополнительные внешние катушки, соединенные последовательно и питаемые постоянным током (рис. 4). Амплитуда тока в питающей дополнительном соленоиде устанавливается в диапазоне 1 А для того, чтобы создать в интервалах приемных катушек постоянное магнитное поле порядка 1,2–1,6 Т. Питающее напряжение дополнительного соленоида подается по основному каротажному кабелю.

В этом случае металл обсадной колонны намагничивается до уровня насыщения ($\mu = 1$), что практически до нуля снижает все помехи, обусловленные неоднородностью магнитной проницаемости металла, вызванной как развитием окислительных процессов, так и внешним сторонним давлением в интервалах пластических горных пород геологического разреза.

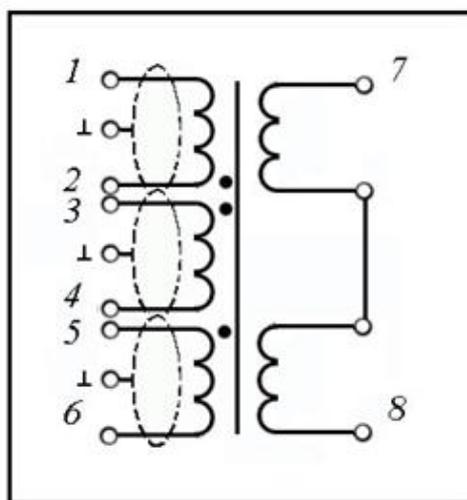


Рис. 4. Схема намотки катушек локатора муфт: 1–2 и 5–6 – входы приёмных катушек, 3–4 – входы генераторной катушки, 7–8 – входы намагничивающего соленоида

Следует отметить, что постоянное магнитное поле дополнительной не создает никаких помех при работе приемных катушек, так как индуцирование тока в приемных замкнутых контурах происходит только в моменты изменения внешнего магнитного поля (в данном случае сигнала основного генераторного соленоида).

$$B = \mu N I,$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ – магнитная проницаемость, Гн/м

$$N = n / l,$$

n – число витков,

l – длина соленоида, м

I – сила тока, А.

К примеру, при силе тока 1 А, $l = 0,3$ м и используемом ферритовым сердечником ($k_y = 25$) число витков провода диаметром 1 мм² на интервале $l = 0,3$ м должно быть не менее 24–32.

2. В локаторе муфт на двух интервалах приемных соленоидов устанавливаются два постоянных неодимовых магнита (Nd) с высокой коэрцитивной силой, сохраняющих свои свойства при температурах порядка 150 °С.

Основное предназначение магнитов – создание постоянного магнитного поля 1,2–1,6 Т в интервалах измерения приемных соленоидов локатора. При этом металл колонны приходит в состояние магнитного насыщения, при котором никак не сказываются вариации магнитной проницаемости, наложенные в процессе эксплуатации скважины.

Постоянное магнитное поле 1,2–1,6 Т также не создает никаких помех при регистрации приемными катушками магнитных

полей изменяющихся вихревых токов в металле обсадной колонны.

Практическим результатом решения является высококачественная запись диаграммы регистрации муфтовых соединений обсадных колонн в любых условиях эксплуатации.

Выводы

Разработана технология высококачественной локализации муфтовых соединений обсадных колонн, основанная на применении дополнительного искусственного намагничивания интервалов обсадных колонн до состояния магнитного насыщения с целью полного исключения влияния помех, позволяющая получать высококачественную запись диаграммы регистрации муфтовых соединений обсадных колонн.

Библиографический список

1. Половко М.П., Ходаковский А.В., Пермьяков А.Г., Головкин Л.И., Мельников А.В. Локатор перфорационных отверстий и соединительных муфт обсадных ферромагнитных труб. Патент РФ № 2191365 от 20.10.2002, ЗАО «Геофизмаш».

2. Пермьяков А.Г., Ходаковский А.В., Петрусова А.Н., Мельников А.В. Локатор перфорационных отверстий и соединительных муфт обсадных ферромагнитных труб и способ его использования. Патент РФ 2715090С2 от 2020.02.25. ЗАО «Геофизмаш».

3. Яворский Б.М., Детлаф А.А., Лебедев А.К. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / 8-е изд., перераб. и испр. М.: ООО «Издательство Оникс»*: ООО «Издательство «Мир и Образование», 2006. 1056 с.

Improving the Technology for Locating Coupling Joints of Casing Strings of Oil and Gas Wells

V.K. Teplukhin^a, A.N. Ratushnyak^b

^aLeader LLC, 14 Gubkina Str., Oktyabrskiy, Russia. E-mail: teplukhin-v@yandex.ru

^bInstitute of Geophysics, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

100 Amundsen Str., Ekaterinburg, Russia. E-mail: geo_info@mail.ru

The article discusses a technique for significantly improving the technology of the method of locating coupling joints of casing strings, which is of primary interest when conducting a complex geophysical studies in oil and oil and gas wells.

Key words: *geophysical studies of oil and gas wells; casing sleeve locator; constant magnetic field sources; induction research methods.*

References

Polovko M.P., Hodakovsky A.V., Permyakov A.G., Golovko L.I., Melnikov A.V., Lokator perforatsionnykh otverstiy i soedinitelnykh muft obsadnykh ferromagnitnykh trub [Locator of perforations and ferromagnetic casing couplings]. Patent 2191365, 20.10.2002, ZAO «Geofiz mash».

Permyakov A.G., Hodakovsky A.V., Petrusova A.N., Melnikov A.V. Lokator perforatsionnykh otverstiy i soedinitelnykh muft obsadnykh ferromagnitnykh trub

i sposob ego ispolzovania [Locator of perforations and casing couplings of ferromagnetic pipes and method of its use]. Patent 2715090C2, 2020.02.25. ZAO «Geofiz mash»

Yavorsky B.M., Detlaf A.A., Lebedev A.K. 2006. Spravochnik po fizike dlya inzherov i studentov vusov [Handbook of Physics for Engineers and University Students]. Isdatelstvo «Oniks», Isdatelstvo «Mir i Obrasovanie», p. 1056. (in Russian)