МЕТОДИКА ОЦЕНКИ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ БУРОВОГО РАСТВОРА ПО ДАННЫМ МНОГОЗОНДОВОГО БОКОВОГО КАРОТАЖА

EVALUATION METHOD OF THE MUD RESISTIVITY ACCORDING TO MULTIZONDE LATEROLOG CURVES

В.А. Клименко
Vitaliy A. Klimenko

АО НПФ «Геофизика»,
г. Уфа, Российская Федерация

SPC «Geofizika» JSC,
Ufa, Russian Federation

В.М. Коровин
Valery M. Korovin

АО НПФ «Геофизика»,
г. Уфа, Российская Федерация

SPC «Geofizika» JSC,
Ufa, Russian Federation

Т.Р. Салахов
Timur R. Salahov

АО НПФ «Геофизика»,
г. Уфа, Российская Федерация

SPC «Geofizika» JSC,
Ufa, Russian Federation

В статье предложена и рассмотрена методика оценки или уточнения удельного электрического сопротивления бурового раствора по показаниям приборов многозондового бокового каротажа. Методика может использоваться при отсутствии данных резистивиметрии или некорректности этих данных. Особенно это актуально для горизонтальных скважин, так как полноценное проведение резистивиметрии затруднено, и данные об удельном электрическом сопротивлении бурового раствора должны измеряться на поверхности кондуктометром. Предложенная методика основана на методе последовательных приближений и методе опорных пластов. Для анализа удельного электрического сопротивления бурового раствора требуются два специально выбранных опорных пласта. Для них осуществляется перебор последовательных введений поправок за скважину на кривые многозондового бокового каротажа, и по характерным разложениям в опорных пластах оценивается правильность выбора соответствующего удельного электрического сопротивления бурового раствора. Погрешность определения удельного электрического сопротивления бурового раствора по приведенной методике является достаточной для введения поправки за влияние скважины на показания прибора многозондового бокового каротажа. Предложенная методика приведена на примере скважинных материалов прибора пятизондового бокового каротажа высокого разрешения 5БК, выпускаемого в АО НПФ «Геофизика» (г. Уфа). Введение поправок за влияние скважины выполняется на основе заранее вычисленных палеточных зависимостей для этого типа приборов. В статье также дано определение термина контрастности для приборов электрического каротажа, рассмотрены основные факторы, влияющие на контрастность приборов, приведены пределы измерения по контрастности для приборов пятизондового бокового каротажа высокого разрешения 5БК.

The article proposes and discusses a method for estimating or clarifying the specific electrical resistance of drilling mud according to the indications of multisonde laterolog tool. The technique can be used in the absence of data resistivity or incorrect data. This is especially true for horizontal wells, since full resistivity measurement is difficult, and data on the electrical resistivity of the drilling mud should be measured on the surface by conductometer. The proposed technique is based on the trial and error method and reference bed method. To analyze the electrical resistivity of the drilling mud, two specially selected reference beds are required. For them, the search for successive correction for borehole effect on the multisonde laterolog curves is carried out. According to the specific

Ключевые слова

многозондовый боковой каротаж,
влияние скважины,
удельное электрическое
сопротивление, контрастность,
глубинность исследования

Key words

multisonde laterolog,
borehole effect,
electrical resistivity,
contrast ratio,
depth of investigation

expansions in the reference layers, correctness of the choice of the corresponding electrical resistivity of the drilling mud is estimated. The determination error of electrical resistivity of the drilling mud according to the introduce method be enough to correction borehole effect on the data of the multisonde Laterolog tool. The proposed method is exemplified by well materials from a five-sondes laterolog tool 5BK, issued by SPC «Geofizika», JSC, Ufa. Correction borehole effect is carried out through the pre-calculated departure curves for this type of tool. Also in the article present the definition of the contrast ratio for resistivity logging tools, the main factors affecting on the tool's contrast ratio and the range of variation limits for contrast ratio for five-sondes laterolog tool 5BK.

В последнее время на ведущих геофизических предприятиях России появился целый ряд отечественных приборов многозондового бокового каротажа [1, 2], которые решают одни и те же задачи, но могут отличаться по типу зондовых установок. При длине зонда значительно больше диаметра скважины (более шестикратного диаметра скважины) для классических зондов БК-3, БК-7 скважина, даже заполненная минерализованным буровым раствором, оказывает не очень большое влияние на результат измерения [3]. Однако в случаях с сильноминерализованным буровым раствором, или при большом диаметре скважины, или малой длине зонда все же необходимо вводить поправки за влияние скважины. Например, это делается для приборов 5BK¹ [4]. Кроме этого, руководящие документы [5, 6] требуют обязательного проведения резистивиметрии скважин, либо, если это затруднительно, измерения удельного электрического сопротивления (УЭС) скважины кондуктометром на поверхности. При этом практика показала, что для приборов с зондовой установкой 5BK [4] рассчитанные по кондуктометру значения достаточны для выполнения всех вычислений. В случае измерения УЭС бурового раствора кондуктометром следует перевести УЭС в Ом·м, и учесть температурный коэффициент изменения УЭС бурового раствора. Однако данные термометрии могут отсутствовать, либо быть измерены не совсем корректно. Например, за данные термометрии часто берутся показания какого-либо датчика температуры внутри корпуса прибора, а не самого бурового раствора. Кроме этого непонятно, что должно происходить с УЭС бурового раствора в скважине напротив интересующих пластов в условиях высоких давлений и температур. Также в работе могут возникать некоторые сложности: записи резистивиметра или показания по кондуктометру могут быть

искажены, либо вовсе не выполнены. Измерения УЭС бурового раствора и кажущиеся сопротивления боковых зондов очень часто производятся с большим промежутком во времени, что непременно ведет к изменению скважинных условий.

Для вышеописанных случаев разработана и опробована специальная методика, позволяющая определять УЭС бурового раствора с погрешностью, достаточной для корректного введения поправки за скважину, на показания приборов многозондового бокового каротажа высокого разрешения.

Для понимания методики необходимо дать определение термину контрастность, а также рассмотреть пределы контрастности для приборов. Контрастность — это отношение кажущегося УЭС (ρ_k), то есть показания зонда, к УЭС бурового раствора (ρ_c): ρ_k / ρ_c . Ввиду того, что показания зондов бокового каротажа не линейно зависят от УЭС пласта и УЭС бурового раствора, при достаточно больших значениях УЭС пласта практически всегда наблюдается ситуация, когда малое изменение УЭС пласта вызывает большое (бесконечное) изменение кажущегося УЭС, рассчитываемого по показаниям прибора. В этом случае обратная интерполяция УЭС пласта по показаниям прибора становится невозможна, поскольку невозможно оценить, какое именно малое изменение УЭС пласта изначально вызвало большое изменение показаний прибора. Контрастность в данном случае ограничивает значение УЭС пласта, которое может быть интерполировано при УЭС бурового раствора, который известен.

Значения максимальной контрастности зависят от:

— длины зонда, чем длиннее зонд, тем больше величина допустимой контрастности (меньше влияние УЭС раствора);

¹ Здесь и далее по тексту при упоминании прибора 5BK имеются в виду приборы 5BK различных исполнений, выпускаемые АО НПФ «Геофизика», г. Уфа.

— соотношения диаметра скважины к диаметру прибора, чем ближе диаметр прибора к диаметру скважины, тем больше величина допустимой контрастности;

— электрохимических свойств буровых растворов, данное влияние не оценено, но косвенно установлено, что чем выше кислотность состава раствора, тем ниже контрастность;

— положения прибора в скважине;

— степени загрязнения поверхности прибора, особенно актуально, если прибор не был промыт после скважины с высоким содержанием серы.

Ввиду большого числа факторов и невозможности учесть влияние скважины, вызванное электрохимическими свойствами буровых растворов, предельные значения контрастности носят ознакомительный характер и устанавливаются экспериментальным путем. Так, было установлено, что для скважины диаметром 216 мм предел измерения по контрастности для прибора 5БК, выпускаемого АО НПФ «Геофизика», составляет:

— 20000 для первого и второго зондов БК;

— 140000 для третьего, четвертого и пятого зондов БК.

Как уже отмечалось выше, ещё одним важным фактором, влияющим на допустимую контрастность раствора, является положение прибора в скважине. Наилучшие показатели контрастности достигаются при положении прибора на оси скважины. При приближении прибора к стенке скважины для длинных зондов контрастность уменьшается несущественно, а для коротких зондов начинает уменьшаться в десятки-сотни раз (чем ближе к стенке скважины, тем меньше контрастность), поэтому каротажи приборов электрического каротажа рекомендуется проводить на центраторах или отклонителях.

Например, для прибора 5БК расчетным путем вычислено, что при УЭС раствора 0,04 Ом·м первый короткий зонд прибора, размещенного по оси скважины, способен различать УЭС пласта вплоть до 800 Ом·м при диаметре скважины 216 мм. В тех же условиях при положении на стенке скважины короткий зонд может различать УЭС пласта до 42 Ом·м. При этом длинные зонды (четвертый и пятый) практически не чувствительны к положению прибора в скважине. Таким образом, приведенные данные носят обзорный характер и объясняют, почему в некоторых

скважинах показания зондов прибора хорошо коррелируются между собой, а в других — первый и иногда второй зонды сильно занижают показания.

На рисунке 1 приведены кривые, полученные прибором 5БК, номер соответствующего зонда обозначен последней цифрой в названии кривой. Работы проводились на одном из месторождений Иркутской области в рамках проведения опытно-производственных работ, без установки центраторов. Диаметр скважины составлял 216 мм, УЭС бурового раствора составляло 0,04–0,05 Ом·м. На кривые, приведенные на рисунке, введена поправка за влияние скважины. Как видно из рисунка, первый зонд (кривая 5БК_R1) достиг предела измерения по контрастности, так как его кривая лежит значительно ниже кривых остальных зондов и ограничивает выходные данные на уровне 40–50 Ом·м из-за шунтирующего влияния скважины. Отсутствие достижения предела измерения по контрастности необходимо вводить только после введения поправок за влияние скважины, так как до введения поправок расхождение зондов во всем интервале исследования является «нормальной» ситуацией.

Методика определения УЭС бурового раствора по методу опорных пластов заключается в следующем: необходимо выбрать не менее одного «низкоомного» опорного пласта (сопротивлением менее 50 Ом·м) мощностью не менее 2 м, который является заведомо непроницаемым, назовем этот пласт — опорный пласт № 1. И не менее одного «высокоомного» опорного пласта, сопротивление которого близко к граничным значениям по контрастности, назовем этот пласт — опорный пласт № 2.

Далее выполняем следующий алгоритм.

1. Для примера в качестве УЭС бурового раствора сначала указываем соленый раствор с УЭС 0,03 Ом·м и выполняем введение поправки за влияние скважины. Результат расчета приведен на рисунке 2.

На рисунке 2 представлены кривые после введения поправки за скважину. В опорном пласте № 1 при идеальных условиях (вертикальная скважина с точным диаметром и круглым сечением) показания всех зондов должны слиться в одну линию или устремиться к наложению, а в опорном пласте № 2 они должны разложиться в порядке глубинности, выйдя на ограничение по контрастности.

Рисунок 1. Достижение предела измерения по первому зонду

Рисунок 2. Введение поправки за УЭС бурового раствора 0,03 Ом·м

сти среды (рисунки 2, 3). Разложиться в порядке глубинности означает, что кажущееся сопротивление первого зонда меньше кажущегося сопротивления второго зонда, которое меньше кажущегося сопротивления третьего зонда, которое меньше кажущегося сопротивления четвертого зонда, которое меньше кажущегося сопротивления пятого зонда, то есть должно выполняться соотношение:

$$\rho_{k1} < \rho_{k2} < \rho_{k3} < \rho_{k4} < \rho_{k5}.$$

Разложение кривых на рисунке 2 не дает возможности принять однозначное решение о корректности задания УЭС раствора. Введение поправки за скважину здесь и далее выполнялось в программе Genesis, выпускаемой АО НПФ «Геофизика», г. Уфа.

2. Увеличим УЭС бурового раствора на порядок до 0,3 Ом·м, и выполним введение поправки за влияние скважины. Результат расчета приведен на рисунке 3.

Анализируя поведение кривых напротив пласта № 1, видно, что первый зонд стал показывать выше пятого и, наоборот, пятый зонд локально показал УЭС ниже всех зондов. Это свидетельствует о том, что фактическое УЭС раствора было меньше того значения, которое было задано, и проявилось это в том, что пятый зонд был слишком сильно исправлен за влияние более пресного раствора.

3. Для наглядности увеличиваем УЭС бурового раствора ещё на порядок до 3 Ом·м, и выполним введение поправки за влияние скважины. Результат расчета приведен на рисунке 4.

Из рисунка 4 видно, что произошло «перерегулирование» (введение избыточной поправки за влияние пресного раствора). Причем «перерегулирование» произошло не только в низкоомном опорном пласте № 1, но и в высокоомном, где длинный зонд стал показывать меньше коротких. В низкоомном опорном пласте № 1 явно наблюдается разложение кривых, характерное для повышающего проникновения, однако изначально для проверки был выбран непроницаемый пласт и, значит, УЭС бурового раствора выбрано некорректно.

4. Таким образом, можно однозначно сказать, что из трех выбранных значений более корректно был задан раствор со значением 0,03 Ом·м, и можно предположить, что истинное значение находится в диапазоне 0,03–0,3 Ом·м.

5. Для сравнения введем поправки по фактическому УЭС раствора, которое было измерено резистивиметром во время каротажа и составило 0,05 Ом·м. Результат расчета приведен на рисунке 5.

Рисунок 3. Введение поправки за УЭС бурового раствора 0,3 Ом·м

Рисунок 4. Введение поправки за УЭС бурового раствора 3 Ом·м

Рисунок 5. Введение поправки за УЭС бурового раствора 0,05 Ом·м

Сравнивая результаты расчета, показанные на рисунках 2 и 5, можно заметить, что они идентичны в пределах погрешности измерения. В первом приближении, в случае отсут-

ствия данных резистивиметрии, можно использовать введение поправки за УЭС бурового раствора, равного 0,03 Ом·м. Из этого следует, что предложенная методика опреде-

ления УЭС бурового раствора позволяет определить его с погрешностью, достаточной для введения поправки за скважину на кривые многозондового бокового каротажа. В случае если необходимо получить значение УЭС бурового раствора более точно, то можно продолжать последовательный перебор значений УЭС до получения приемлемого результата.

Выводы

Предложенную методику можно использовать не только для получения данных об УЭС бурового раствора, но и как способ проверки данных резистивиметрии. Так, если ошибка определения составляет более порядка, то это сразу заметно по нехарактерному разложению кривых в высокоомных пластах (характерно — это когда более длинный зонд показывает больше, чем короткий, с ограничением по контрастности). А также бывает заметно по

поведению в низкоомных непроницаемых пластах, где кривые должны накладываться друг на друга после введения поправки за скважину. Методика последовательного перебора УЭС бурового раствора и введения поправок на показания для опорных пластов успешно применяется при обработке каротажных данных для прибора 5БК. Она была опробована на всей линейке приборов многозондового бокового каротажа 5БК (кабельная, автономная и комплексная), и введена в качестве дополнительного средства получения или уточнения данных при обработке каротажных кривых в методическое руководство к прибору 5БК [7]. Применение изложенной методики также возможно для любых приборов многозондового бокового каротажа, имеющих в своем составе зонды различной глубины исследования.

СПИСОК ИСПОЛЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Пантюхин В.А., Диченко Р.А., Нигматзянов В.Г. Многозондовый прибор электрического каротажа высокого разрешения ЭК-ВР // Научно-технический вестник «Каротажник». 2016. Вып. 9 (267). С. 109–118.
2. Леготин Л.Г. Многозондовый метод бокового каротажа // Научно-технический вестник «Каротажник». 2014. Вып. 3 (237). С. 93–106.
3. Комаров С.Г. Геофизические методы исследования скважин. М.: Недра, 1973. 367 с.
4. Клименко В.А., Салахов Т.Р., Юлмухаметов К.Р. Прибор электрического многоэлектродного бокового каротажа // Научно-технический вестник «Каротажник». 2015. Вып. 11 (257). С. 71–80.
5. РД 153-39.0-072-01. Техническая инструкция по проведению геофизических исследований на кабеле в нефтяных и газовых скважинах. М., 2001. 279 с.
6. Технологический регламент по проведению ГИРС в ОАО «Башнефтегеофизика»: в 4 т. / Общ. ред. В.М. Коровина. Уфа: Инфореклама, 2013. Т. 2. Технологии проведения ГИРС в необсаженных скважинах. 312 с.
7. Методическое руководство по проведению и обработке результатов измерений, интерпретации полученных данных прибором пятизондового бокового каротажа (5БК) высокого разрешения. Уфа: АО НПФ «Геофизика», 2017. 111 с.

REFERENCES

1. Pantyukhin V.A., Dichenko V.G., Nigmatzyanov R.A. Mnogozondovyi pribor elektricheskogo karotazha vysokogo razresheniya EK-VR [An EK-VR High-Resolution Electrical Array Logging Tool]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik «Karotazhnik» — Scientific and*

Technical Bulletin Karotazhnik, 2016, Issue 9 (267), pp. 109–118. [in Russian].

2. Legotin L.G. Mnogozondovyi metod bokovogo karotazha [Multisonde Array Lateral Logging]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik «Karotazhnik» — Scientific and Technical Bulletin Karotazhnik*, 2014, Issue 3 (237), pp. 93–106. [in Russian].

3. Komarov S.G. *Geofizicheskie metody issledovaniya skvazhin* [Geophysical Methods of Wells Research]. Moscow, Nedra Publ., 1973. 367 p. [in Russian].

4. Klimenko V.A., Salakhov T.R., Yulmukhamev K.R. Pribor elektricheskogo mnogoelektrodnogo bokovogo karotazha [Appliance Electric Multi-Electrode Lateral Logging]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik «Karotazhnik» — Scientific and Technical Bulletin Karotazhnik*, 2015, Issue 11 (257), pp. 71–80. [in Russian].

5. RD 153-39.0-072-01. *Tekhnicheskaya instruksiya po provedeniyu geofizicheskikh issledovaniy na kabele v neftyanykh i gazovykh skvazhinakh* [Technical Instructions for Carrying out Geophysical Studies on the Cable in Oil and Gas Wells.]. Moscow, 2001. 279 p. [in Russian].

6. *Tekhnologicheskii reglament po provedeniyu GIRS v OAO «Bashneftegeofizika»: v 4 t.* [Technological Regulations for Wells in JSC «Bashneftegeofizika» in 4 Vol.]. T. 2. *Tekhnologii provedeniya GIRS v neobsazhennykh skvazhinakh*. [The Technology of GIS in the Open Hole Wells.]. Ufa, Inforeklama Publ., 2013. 312 p. [in Russian].

7. *Metodicheskoe rukovodstvo po provedeniyu i obrabotke rezul'tatov izmerenii, interpretatsii poluchennykh dannykh priborom pyati zondovogo bokovogo karotazha (5BK) vysokogo razresheniya*. [Methodical Guidance on Carrying out and Processing of Measurement Results, Interpretation of the Received Data by the Device of Five Probe Side Logging (5BK) of High Resolution]. Ufa, AO NPF «Gefizika» Publ., 2017. 111 p. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Клименко Виталий Александрович, ведущий инженер-электроник АО НПФ «Геофизика», г. Уфа, Российская Федерация

Vitaliy A. Klimenko, Leading Electronics Engineer, SPC «Geofizika» JSC, Ufa, Russian Federation

e-mail: KlimenkoVitaliy88@yandex.ru

Коровин Валерий Михайлович, д-р техн. наук, старший научный сотрудник АО НПФ «Геофизика», г. Уфа, Российская Федерация

Valery M. Korovin, Doctor of Engineering Sciences, Senior Researcher, SPC «Geofizika» JSC, Ufa, Russian Federation

e-mail: rz9wx@mail.ru

Салахов Тимур Рамилевич, канд. техн. наук, начальник отдела электроники АО НПФ «Геофизика», г. Уфа, Российская Федерация

Timur R. Salahov, Candidate of Engineering Sciences, Head of Electronics Department, SPC «Geofizika» JSC, Ufa, Russian Federation

e-mail: salahovtr@npf-geofizika.ru