

ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКОГО КАРОТАЖА ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ НЕФТЯНЫХ СКВАЖИН

© 2009 М.Г. Рубцов, В.Я. Купер

Научно-производственный центр «ПАЛС»

Поступила в редакцию 24.11.2009

Рассмотрены особенности использования ионоселективных электродов для гидрогеохимического каротажа в условиях нефтяных скважин. На основе реальных результатов измерений показана работоспособность разработанной аппаратуры.

Ключевые слова: ионоселективные электроды, гидрогеохимический картаж, нефтяная скважина

Гидрогеохимический картаж (ГГХК) – это новый метод исследования скважин, основанный на электрохимических методах анализа состава флюида и позволяющий решать разнообразные задачи научно-исследовательского и производственно-технологического характера, как в процессе разведки, так и в процессе разработки месторождений [1]. Исследования, выполняемые с помощью ГГХК при разведке, могут включать в себя [2]:

- изучение ионного состава воды в процессе опробования скважин;
- идентификацию и оценку корреляции вод различных горизонтов с помощью выбранных индикаторов;
- обнаружение аварийного притока воды в скважине, определение места поступления вод в скважину.

В число задач, решаемые с помощью ГГХК в процессе разработки месторождений, входят:

- изучение изменений химического состава вод в процессе разработки;
- оценивание гидродинамической связи пластов;
- управление процессом закачки воды в пласт с целью увеличения нефтедобычи;
- контроль за процессом кислотной обработки скважин и контроль качества промывки после кислотной обработки;
- контроль технического состояния скважин (обнаружение негерметичности труб и участков их интенсивной коррозии, оптимизация ремонтных и профилактических работ).

ГГХК основан на применении потенциометрии, т.е. на измерении разностей потенциалов между электродами, погруженными в жидкость. С точки зрения наличия (или

отсутствия) избирательной реакции потенциала электрода на концентрацию определенного типа ионов различают ионоселективные электроды (ИСЭ) и неселективные электроды. При использовании ИСЭ измеряется разность потенциалов между ИСЭ и электродом сравнения (ЭС), причем ЭС может быть общим для нескольких ИСЭ. В практике ГГХК нефтяных скважин наиболее часто применяются ИСЭ, измеряющие активности ионов водорода (pH), ионов хлора (pCl), ионов натрия (pNa). Стекланный pH-электрод, используемый для измерения кислотно-щелочного показателя, практически абсолютно селективен по отношению к ионам водорода, а на его потенциал не влияют макро- и микрокомпоненты, встречающиеся в природных и техногенных подземных водах [1]. Кроме того, этот электрод обладает высокой надежностью и стабильностью характеристик.

Измерение концентрации (активности) хлоридов позволяет решать задачи, связанные с идентификацией и оценкой корреляции вод, выявлением наличия сообщаемости пластов, определением путей и скорости внедрения в пласт закачиваемой воды и т.п. [2]. В этих задачах ионы хлора используются как индикатор, позволяющий различать различные воды и оценивать процессы их смешивания. Выбор в качестве такого индикатора именно ионов хлора в значительной степени определяется тем, что хлор обычно не участвует в процессе солеобразования при смешении вод, поэтому уравнение связи концентраций ионов хлора в водах до и после смешивания имеет линейный вид. Однако следует отметить, что хлоридный ИСЭ – это кристаллический электрод, который в высокой степени подвержен загрязнению нефтью. В то же время для решения упомянутых выше задач в качестве индикатора могут быть использованы ионы натрия. Экспериментальные исследования, проведенные

Рубцов Михаил Геннадьевич, кандидат технических наук, директор. E-mail: pals@mail.radiant.ru
Купер Виталий Яковлевич, кандидат технических наук, научный руководитель. E-mail: pals@mail.radiant.ru

на многих месторождениях, показали, что имеется практически линейная взаимосвязь между концентрациями ионов натрия и хлора [1], что позволяет использовать натриевый ИСЭ для косвенного определения концентрации хлоридов непосредственно в скважине. ИСЭ из натрий-селективного стекла обладает высокой избирательностью и стабильностью характеристик. В связи с этим при ГГХК нефтяных скважин наиболее перспективным следует считать применение стеклянных рН- и рNa-электродов.

Важным элементом в потенциометрии является электрод сравнения (ЭС). В скважинной аппаратуре в качестве такого электрода используется хлорсеребряный ЭС. Это неполяризующийся истекающий электрод, обеспечивающий точность и стабильность каналов потенциометрии в реальных условиях ГГХК. Кроме того, ЭС это неселективный электрод, потенциал которого не зависит от концентраций отдельных ионов, но зависит от электрических потенциалов в жидкости, что открывает возможности его использования для исследований электрических полей в скважинах. В основе потенциометрии с использованием ИСЭ лежит уравнение Нэрнста, которое может быть представлено в следующем виде [1]:

$$E - E_{II} = - (pX - pX_{II}) * S *, \quad (1)$$

где: E – потенциал электрода относительно ЭС; pX – измеряемая активность ионов; E_{II} , pX_{II} – координаты изопотенциальной точки характеристик ИСЭ; T – абсолютная температура; S – коэффициент, определяющий чувствительность ИСЭ.

Формула (1) при $T = const$ описывает линейную зависимость E от pX , причем эта формула отражает экспериментально установленный факт, что все прямые $T = const$ пересекаются в одной точке (изопотенциальная точка) с координатами pX_{II} , E_{II} . Очевидно, что произведение $S * T$ есть чувствительность потенциометрического датчика при температуре T . Формула (1) содержит три константы (S , E_{II} , pX_{II}), определяемые экспериментально путем калибровки датчика по стандартным растворам, и позволяет по измеренному значению E вычислить активность ионов pX , которая затем может быть пересчитана в концентрацию этих ионов. Успешное создание и применение измерительной аппаратуры при ГГХК связано с решением ряда научно-технических задач. Рассмотрим кратко основные из них.

1) Так как чувствительность ИСЭ зависит от температуры, то в процессе измерений необходимо осуществлять автоматическую температурную коррекцию в соответствии с уравнением (1).

2) Выходная ЭДС ИСЭ зависит от гидростатического давления, а электрод сравнения при повышении давления может вообще терять работоспособность. В связи с этим измерительные электроды и электрод сравнения должны быть конструктивно компенсированы по давлению.

Указанные задачи были успешно решены при создании отечественных и зарубежных потенциометрических анализаторов для океанологических и экологических исследований водной среды. Эти решения применены и в скважинной аппаратуре для ГГХК. В то же время при ГГХК имеют место специфические проблемы, решение которых потребовало проведения научных исследований, в результате которых появились оригинальные технические решения, защищенные патентами РФ [3-5]. Одной из таких проблем является наличие в скважинах значительных электрических полей естественного (геофизические электрические поля) или техногенного происхождения (наличие утечек токонесущих кабелей, разности электродных потенциалов между металлическими конструкциями как в самой скважине, так и между ними и спускаемой аппаратурой, потенциалы, связанные с коррозией обсадных труб, потенциалы, вызванные изменением гидравлического режима потока жидкости в скважине и т.п.). Эти поля могут оказывать значительное влияние на результаты потенциометрии. В связи с этим важной задачей является обеспечение помехоустойчивости каналов потенциометрии по отношению к внешним электрическим полям. Проведенные исследования позволили определить комплекс мер, гарантирующих необходимый уровень помехоустойчивости в реальных условиях ГГХК. Указанные меры включают в себя оригинальные конструктивные (конструкция электродов и экранирующей бленды) и алгоритмические решения (цифровая фильтрация измерительных сигналов и их корреляционный анализ) [3]. В то же время при использовании неселективных электродов (например, электрода сравнения) открывается возможность измерения интенсивности электрических полей в скважинах, что позволяет решать разнообразные задачи, связанные с разведкой и эксплуатацией месторождений. Сущность данного способа исследования электрических полей в скважинах изложена в

Патенте РФ на «Устройство для геофизических исследований в скважинах» [4].

Другая существенная проблема ГТХМ состоит в том, что часто исследуемая скважина содержит смесь воды, нефти и газа. При этом каналы потенциометрии могут терять работоспособность, т.к. нефть является изолятором и ее наличие в электродной области может привести к разрыву электрической цепи в жидкости между измерительным электродом и электродом сравнения. Указанная проблема потенциометрии в водонефтяной смеси была успешно решена совместно с сотрудниками Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН (г. Москва) путем разработки оригинальной конструкции электрода сравнения и конфигурации расположения всех измерительных электродов [5].

На основе вышеизложенных исследований и разработок создан и в настоящее время выпускается серийно гидрохимический модуль «ГеоПАЛС-ГХМ», предназначенный для работы в нефтяных скважинах в составе комплексной скважинной аппаратуры «ГеоПАЛС-КСП». Модуль имеет 3 потенциометрических канала, в том числе 2 канала для работы с ионоселективными электродами и 1 канал для измерений интенсивности электрических полей в скважине. Модуль позволяет использовать ИСЭ любого типа. Как было показано выше, при ГТХК целесообразно применять рН- и рNa- (или рCl-) электроды и специальный электрод сравнения. Электроды легко заменяются, что облегчает их обслуживание и калибровку.

Гидрохимический модуль «ГеоПАЛС-ГХМ» – это микропроцессорный прибор, обеспечивающий высокую точность потенциометрии при исследовании скважин с водой или водонефтяной смесью при наличии электрического поля и позволяющий также оценить интенсивность этого поля. Ниже приведены некоторые примеры практического применения гидрохимического модуля «ГеоПАЛС-ГХМ», подтверждающие возможность использования описываемых метода и аппаратуры в условиях нефтяных скважин. Апробация метода была проведена на добывающих скважинах Западной Сибири, Башкирии, Самарской и Оренбургской областей.

На рис. 1 приведены отдельные результаты гидрохимического каротажа скважины 425 Бобровской площади Оренбургской области. Фоновая запись осуществлялась перед проведением работ по компрессированию для восстановления работы скважины и определения

ее продуктивности. По показаниям влагомера Вг видно, что уровень флюида в скважине находится на глубине 539 м. Флюид в интервале от 539 до 583 м представляет собой смесь нефти с небольшим количеством воды и прослойкой воды в районе глубины 570 м. Ниже слоя нефти находится промысловая жидкость представляющая собой техническую воду.

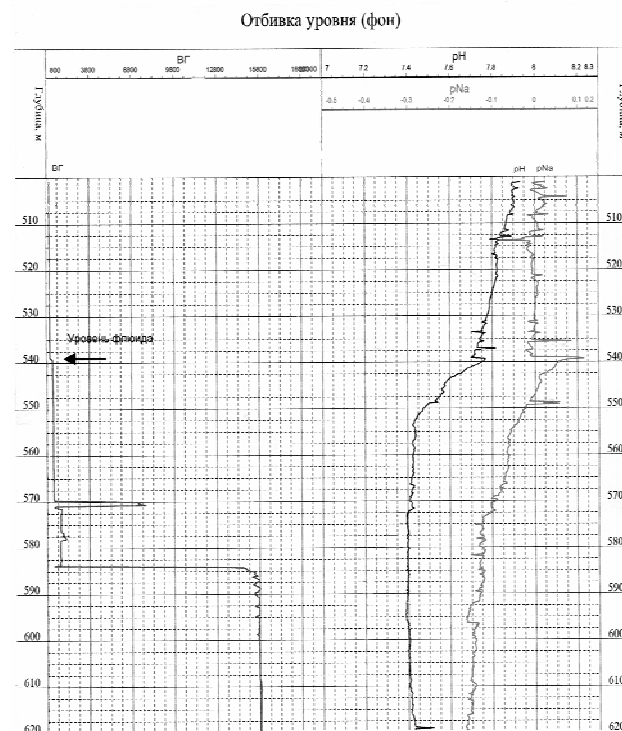


Рис. 1. Результаты гидрохимического каротажа

Из рисунка видно, что потенциометрические электроды рН и рNa начинают работать, практически сразу, достигнув уровня флюида. Поскольку в верхнем интервале находится нефть с небольшим количеством воды можно сделать вывод о том, использованные при создании модуля технические решения позволяют обеспечить работоспособность ионоселективных электродов во флюидах с большим содержанием нефти. Лабораторные эксперименты показывают, что нефтесодержание смеси может достигать 90%. При этом важно, что измеряются параметры именно водной компоненты флюида. Достоверность получаемой измерительной информации была подтверждена лабораторными экспериментами и при работах на скважинах. В условиях лаборатории бралась смесь буферного раствора с известным рН, либо концентрацией соли NaCl и нефти. Результаты измерений, полученные ионоселективными электродами, сравнивались с известными заданными значениями.

Полученные погрешности измерений лежали в пределах $\pm 0,05-0,1$ измеренных рХ, что полностью удовлетворяет условиям проведения измерений при исследованиях скважин. В верхнем слое флюида в интервале около 10 м рН изменяется в диапазоне от 7,7 до 7,4, что обусловлено влиянием конденсата, стекающего со стенок скважины [1]. После выхода прибора на глубину 583 м из пласта нефти в промывочную жидкость показания рН практически не изменяются, следовательно, показания электрода рН не зависят от наличия нефти и других примесей.

Метод ГГХК в ряде случаев дает дополнительную информацию к широко используемым методам каротажа, а порой эта информация является более достоверной по сравнению с получаемой традиционными методами. Например, в геофизике широко используется метод вычисления минерализации пластовой воды на основании результатов измерений электропроводности и температуры флюида. В том случае, когда флюид в скважине представляет собой смесь пластовой воды с различными примесями (нефть, газ, взвесь), оценка минерализации жидкости осуществляется с большой погрешностью, либо, становится вовсе невозможной. При исследовании скважины показания канала электропроводности флюида (резистивиметра) в диапазоне глубин соответствующих пласту нефти равны нулю, что не позволяет оценить минерализацию воды. В данном же примере видно, что показания канала рН изменяются в диапазоне от 0 до $-0,2$, что соответствует изменению минерализации в пересчете на NaCl в диапазоне 90-130 г/л. В верхнем уровне вода имеет меньшую минерализацию, как указывалось выше, за счет конденсата. Затем минерализация достигает значения около 130 г/л, что соответствует минерализации технической воды, используемой при промывке скважины. Из приведенного примера видно, что используемые технические решения позволяют получать с помощью ионоселективных электродов достоверную измерительную информацию в условиях каротажа нефтяных скважин.

Одним из важнейших методов повышения продуктивности скважины является кислотная обработка пласта. При этом не один из применяемых до настоящего времени методов исследования скважин не позволял оценивать качество кислотной обработки, произвести количественную оценку прореагировавшей кислоты и произвести контроль правильности выполнения работ по промывке

скважины. Зачастую это приводит к ненужному перерасходу кислоты при обработке скважины, а присутствие кислоты в скважине из-за плохого качества ее промывки приводит к разрушению обсадной колонны или возникновению аварийных ситуаций. Так, например, при геофизических исследованиях наличие кислоты приводит к разрушению кабеля, что может вызвать обрыв и потерю аппаратуры. Разработанный модуль позволяет контролировать наличие и распространение кислоты в скважине. В качестве примера на рис. 2 приведен результат каротажа скважины № 1220 (месторождение Александровское, Башкирия).

На фоновой записи видно, что в диапазоне глубин 1090-1120 метров рН флюида имеет значение около 0,5, что соответствует 10-12% раствору кислоты. Кислотой именно такой концентрации и осуществляется обработка пласта. Наличие кислоты в стволе скважины свидетельствует о некачественном выполнении закачки ее в пласт и последующей промывки. В процессе свабирования данная кислота, по результатам ГГХК, незначительно разбавлялась скважинным флюидом и поднималась по стволу скважины.

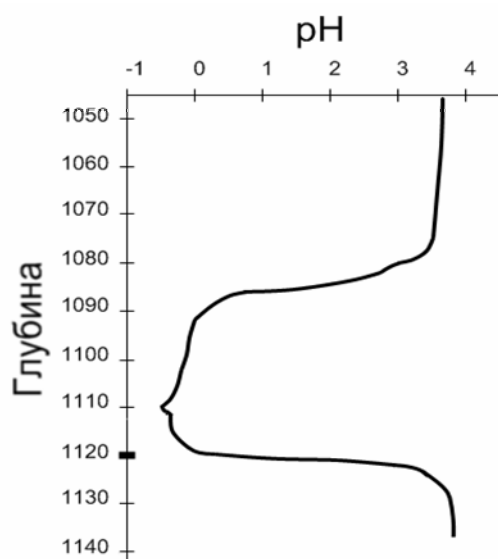


Рис. 2. Результат каротажа скважины № 1220

Выводы: приведенные экспериментальные данные свидетельствуют об эффективности предлагаемых технических решений при создании измерительной аппаратуры для гидрогеохимического каротажа и широких возможностях его применения для решения разнообразных задач при исследовании эксплуатационных скважин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Солодов, И.Н. Гидрогеохимический каротаж: теория и практика / И.Н. Солодов, В.И. Величкин, М.Г. Рубцов и др. Под ред. В.И. Величкина. – М.: Едиториал УРСС, 2005. –320 с.
2. Шугрин, В.П. Нефтепромысловая гидрогеология. – М.: Недра, 1993. –115 с.
3. Купер В.Я., Рубцов М.Г., Солодов И.Н., Липатов О.А., Задворнов В.А., Хотеев А.Д. Устройство для исследования вод в скважинах. Пат. РФ № 2153184. Бюл. № 20. 20.07.2000.
4. Купер В.Я., Рубцов М.Г., Солодов И.Н., Метелев В.П. Устройство для геофизических исследований в скважинах. Патент РФ №2335789. Бюл. №28. 10.10.2008.
5. Солодов И.Н., Купер В.Я., Рубцов М.Г., Черток М.Б. Устройство для исследования вод в скважинах. Пат. РФ № 2260820. Бюл. № 26. 20.09.2005.

**APPLICATION OF HYDROGEOCHEMICAL LOGGING
AT RESEARCHES OF OIL WELLS**

© 2009 M.G. Rubtsov, V.Ya. Kuper

Scientific-production Center «PALS»

Features of use the ionselective electrodes for hydrogeochemical logging in conditions of oil wells are observed. On the basis of real results of measurements working capacity of the developed equipment is shown.

Key words: *ionselective electrodes, hydrogeochemical logging, oil well*