

Мухаммадиев Р.Р.,

студент

3 курс, факультет «ХТОВ»

Нижекамский Химико-Технологический институт

Россия, г. Нижнекамск

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА 5ИК И 5БК ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ТОНКОСЛОИСТЫХ НЕФТЕНАСЫЩЕННЫХ КОЛЛЕКТОРОВ В ТЕРРИГЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Аннотация: Статья посвящена применению комплексов 5ИК и 5БК для выделения тонкослоистых нефтенасыщенных коллекторов в терригенных отложениях Западной Сибири. В последнее время на нефтяных месторождениях Западной Сибири стал актуален вопрос о выделении мощности и определения коэффициента нефтегазонасыщения именно тонкослоистых коллекторов, так как запасы месторождения истощены, и дальнейшая экономическая целесообразность разработки и бурения этих месторождений зависят от точности этих данных.

Ключевые слова: каротаж, коллектора, электрометрия, многозондовый прибор, интерпретация, удельное электрическое сопротивление (УЭС), индукционное каротажное зондирование, синтетические зонды, боковое каротажное зондирование.

Annotation: The article is devoted to the use of the 5IK and 5BK complexes for the isolation of thin-layered oil-saturated reservoirs in the terrigenous deposits of Western Siberia. Recently, at the oil fields of Western Siberia, the issue of allocating capacity and determining the oil and gas saturation coefficient of precisely thin-layered reservoirs has become relevant, since the reserves of the field

are depleted, and the further economic feasibility of developing and drilling these fields depends on the accuracy of these data.

Key words: *logging, reservoir, electrometry, multi-probe tool, interpretation, electrical resistivity (resistivity), induction logging, synthetic probes, lateral logging.*

Исследования скважин и пластов проводятся с целью получения информации об объекте разработки, об условиях и интенсивности притока флюидов в скважину, об изменениях, происходящих в пласте в процессе его разработки.

Такая информация необходима для организации правильных, экономически оправданных процессов добычи нефти, для осуществления рациональных способов разработки месторождения, для обоснования способа добычи нефти, выбора оборудования для подъема жидкости из скважины, для установления наиболее экономичного режима работы этого оборудования при достижении наиболее высокого коэффициента нефтеотдачи.

Изучение характеристики залежей начинается сразу же после их открытия. Одна из главных целей исследований в начальный период заключается в получении информации, необходимой для подсчета запасов нефти и газа.

Для оценки извлекаемых запасов залежи, т.е тех запасов, которые при современной технологии нефтегазодобычи можно извлечь из пласта, необходимо провести исследования по определению коэффициента нефтеотдачи. Этот показатель является наиболее важным при окончательном определении эффективности разработки месторождения. Далее необходимо оценить промышленное значение залежи, для этого необходимо знать товарные качества нефти и газа, а также свойства залежей, определяющие производительность скважин, толщину и проницаемость пласта, вязкость жидкости в пластовых условиях.

Основным этапом разведки и разработки большинства месторождений полезных ископаемых является бурение скважин. С помощью скважин происходит эксплуатация месторождений нефти, газа, воды, каменной соли. При бурении каждой скважины необходимо изучить ее геологический разрез: определить последовательность залегания пластов, литолого-петрофизическую характеристику вскрытых горных пород, выявить в них наличие полезных ископаемых и оценить их содержание. Для этого в процессе бурения отбирают образцы горных пород (керн) и выносимые промывочной жидкостью (ПЖ) на устье скважины обломки пород (шлам). В нефтяных, газовых и гидрологических скважинах также проводят пробные испытания пластов. Однако получаемая при этом информация не дает полного представления о геологическом разрезе скважины.

Трудности, связанные с получением керна привели к созданию геофизических методов исследования скважин, которые позволяют оперативно и достаточно полно решать вышеперечисленные задачи. Эти геофизические методы исследования скважин получили название каротажа. Исследование разрезов, уточнение геологической модели строения осуществляется с помощью геофизических исследований (каротажа).

Различают несколько видов каротажа, которые основаны на измерении различных физических полей и параметров в скважине: электрические методы каротажа – ПС, КС, БКЗ, БК, БМК, микрозондирование и др.; электромагнитные методы каротажа – ИК, ВИКИЗ; радиоактивные методы – ГК, НК, ГГК, ИНК, а также геохимический, акустический каротажи, наклонометрия, и т.д. В ГИС используются около 450 специальных терминов для характеристики ГИС-работ, геолого-технических исследований в процессе бурения, по вторичному вскрытию пластов и интенсификации притока жидкости. [1]

Электрический каротаж составляет основу комплекса геофизических исследований поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин.

Особенно важное место он занимает при изучении разрезов скважин, бурящихся на нефть и газ. Во всех скважинах по всему стволу выполняют стандартный электрический каротаж для литологического и стратиграфического расчленения и взаимной корреляции разрезов скважин. В перспективных на нефть и газ интервалах скважин проводят детальные электрические исследования, включающие боковое каротажное зондирование (БКЗ), боковой (БК) и индукционный каротаж (ИК), высокочастотное индукционное каротажное изопараметрическое зондирование (ВИКИЗ), микрокаротаж обычными зондами и боковой микро-каротаж (БМК).

Сопротивление нефти 10^9 - 10^{16} Ом·м, поэтому сопротивление нефтеносных пластов зависит от количества, минерализации и формы залегания связанной воды. По минерализации связанная вода близка к пластовой воде. Количество нефти и связанной воды в поровом пространстве характеризуется коэффициентами нефтенасыщенности (k_n) и водонасыщенности (k_w). Следовательно, сопротивление нефтеносного пласта во многом определяется коэффициентом водонасыщенности. С уменьшением коэффициента водонасыщенности уменьшается сечение токопроводящих каналов и соответственно увеличивается сопротивление.

Таким образом, удельное электрическое сопротивление пород является информативным параметром, позволяет дифференцировать коллекторы по газонефтеводонасыщенности и проводить литологическое расчленение разреза. [1]

Объектом геофизического исследования являются пласты, пересеченные скважиной.

Скважина – одна из форм горных выработок, цилиндрической формы, диаметр которой во много раз меньше ее длины. Горная выработка включает не только проходку ствола скважины, но и изучение геологического разреза, поэтому геофизические исследования проводятся во всех без исключения скважинах. В качестве разрушающего инструмента применяются долота

различной конструкции. Долото устанавливается на конце колонны бурильных труб, при роторном бурении привод расположен на устье скважины, при турбинном бурении над долотом устанавливается турбина.

При проходке ствола скважины применяется промывочная жидкость, которая в большинстве случаев представляет глинистый раствор. Промывочная жидкость подается по колонне бурильных труб и по затрубному пространству выносится на поверхность. Основные назначения промывочной жидкости выносить разбуренную породу на поверхность, охлаждать долото при проходке ствола скважины. При турбинном бурении обеспечивать работу турбины. Плотность промывочной жидкости задается из условия, чтобы давление на забое скважины было больше, чем пластовое давление. Пластовое давление определяется давлением, под которым находится жидкость в пустотном пространстве. Эта величина близка к величине гидростатического напора. При данном соотношении давления на забое и пластового давления исключается приток жидкости из пласта в процессе бурения.

Пласт – элемент разреза, толщина которого во много раз меньше площади его развития, резко отличающийся по составу от выше- и нижележащих отложений, имеющий две поверхности напластования (кровлю и подошву), четко выделяемый и коррелируемый в разрезе толщи и по площади месторождения.

Коллекторами называют пласты, представленные породами, способными содержать пластовые флюиды (нефть, газ и воду) и отдавать их при практически значимых перепадах давления. Основными свойствами коллекторов являются пористость и проницаемость.

Под пористостью горной породы понимают наличие в ней пустотного (емкостного) пространства (пор, каверн, трещин). Количественно пористость породы характеризуется коэффициентом пористости k_n , который равен отношению объёма всех пустот в горной породе $V_{п}$ к её общему объёму $V_{об}$.

Проницаемость – способность горной породы пропускать через себя, при практически наблюдаемых перепадах давления, жидкости и газы.

Существенным является влияние промывочной жидкости на объект исследования. В интервале коллекторов при $p_{заб} > p_{пл}$ происходит проникновение водной фазы промывочной жидкости (фильтрата) в пласт, в котором образуется зона проникновения (ЗП). Обычно размеры зоны проникновения составляют от 2-4 до 8 диаметров скважины.

В интервале коллектора происходит уменьшение диаметра скважины за счет выпадения глинистой фазы промывочной жидкости на стенки коллектора, образуется так называемая глинистая корка, толщина которой обычно от 5 до 20 мм. При контакте глин с промывочной жидкостью на водной основе за счет их разрушения наблюдается увеличение диаметра скважины в их интервале (образуются каверны).[1]

В зоне проникновения фильтрат промывочной жидкости смешан с пластовой водой, и её удельное сопротивление изменяется в радиальном направлении. Проникновение фильтрата может привести к повышению сопротивления пласта (повышающее проникновение). Это обычно наблюдается при проникновении пресного фильтрата в водоносные пласты, насыщенные более минерализованной водой, а также в нефтеносные пласты при их низкой нефтенасыщенности. Проникновение фильтрата промывочной жидкости в пласт может привести к снижению его сопротивления (понижающее проникновение). Это происходит, когда сопротивление фильтрата меньше, чем сопротивление воды, насыщающей поры породы, либо при проникновении фильтрата в нефтегазонасыщенные пласты вследствие вытеснения нефти и газа фильтратом.

Наиболее измененная влиянием проникновения часть пласта, расположенная непосредственно у стенки скважины называется промытой зоной. В этой зоне фильтрат промывочной жидкости практически полностью вытесняет подвижный пластовый флюид. С увеличением расстояния от стенки

скважины объем фильтрата в единице объема породы постепенно уменьшается и сопротивление зоны проникновения ρ_{zn} достигает сопротивления неизменной части пласта.

Сопротивление промытой зоны ρ_{nz} водоносного пласта определяется обычно сопротивлением фильтрата промывочной жидкости и пористостью пласта. В промытой зоне нефтеносного пласта происходит замещение пластовой воды и нефти фильтратом промывочной жидкости, но в тонких порах и тупиках коллектора нефть частично сохраняется. Принято считать, что в промытой зоне содержится 20-35% остаточной нефти. В глинистых коллекторах, а также при большой вязкости нефти остаточная нефтенасыщенность может достигать и больших значений. В газоносных пластах остаточная газонасыщенность всегда больше остаточной нефтенасыщенности даже для очень вязких нефтей.

Электрический каротаж составляет основу комплекса геофизических исследований поисковых, разведочных и эксплуатационных скважин. Особенно важное место он занимает при изучении разрезов скважин, бурящихся на нефть и газ. Во всех скважинах по всему стволу выполняют стандартный электрический каротаж для литологического и стратиграфического расчленения и взаимной корреляции разрезов скважин. В перспективных на нефть и газ интервалах скважин проводят детальные электрические исследования, включающие боковое каротажное зондирование (БКЗ), боковой (БК) и индукционный каротаж (ИК), высокочастотное индукционное каротажное изопараметрическое зондирование (ВИКИЗ), микрокаротаж обычными зондами и боковой микрокаротаж (БМК).

Задачами этих исследований являются:

- расчленение разреза на пласты с разными электрическими свойствами;
- изучение распределения удельного сопротивления в промытой зоне, зоне проникновения и в неизменной части пласта;

- выделение пластов-коллекторов;
- определение подсчетных параметров продуктивных пластов.

Боковой каротаж (БК) является разновидностью электрического каротажа по методу сопротивления с фокусировкой тока.

При измерении эффективного сопротивления этим методом в скважину опускается зонд, состоящий из основного токового A_0 и двух или нескольких экранных электродов \mathcal{E} , однополярных с основным и расположенных по обе стороны от него на равных расстояниях.

Трехэлектродный зонд метода БК представляет собой длинный проводящий цилиндрический электрод, разделенный изоляционными промежутками на три части. Центральный короткий электрод A_0 зонда является токовым, а крайние A_1 и A_2 , соосные и равные по диаметру первому, но более длинные, – экранные. Экранные электроды соединены между собой и через них пропускается ток той же полярности, что и через электрод A_0 . Вторым токовым электродом, на который замыкается цепь источника тока, служит электрод B , расположенный на поверхности или в скважине.

Общая длина трехэлектродного фокусированного зонда выбирается равной примерно-3,2 м; минимальная толщина пласта, которая выделяется этим зондом- 0,5 м при длине центрального электрода 0,15 м. Диаметр зонда, исходя из условия проходимости прибора по стволу скважины, принят равным 73 мм.

Центральный токовый электрод A_0 является одновременно измерительным M . Регистрируется изменение потенциала электрода M относительно удаленного электрода N , находящегося на изолированном участке кабеля не ближе чем на 20 м от центрального электрода.

Для записи кривой эффективного сопротивления необходимо обеспечить равенство потенциалов питающего и экранирующих электродов. Когда достигается равенство потенциалов всех трех электродов, ток из центрального электрода A_0 не растекается по скважине, а распространяется в слое среды,

перпендикулярном к оси скважины. Толщина этого слоя приблизительно равна длине центрального электрода A_0 .

Радиус исследования зонда равен радиальному расстоянию от скважины до точки, в которой толщина слоя выходящих из основного электрода токовых линий начинает значительно увеличиваться, т.е. расстояние на котором линии тока параллельны. Приблизительно можно считать, что глубина исследования равна длине экранного электрода.[1]

Индукционным каротажем (ИК) называют изучение удельного сопротивления (удельной электропроводности) пересеченных скважиной горных пород, основанное на измерении вторичного поля вихревых токов, индуцированных в породе.

В основе метода лежит закон электромагнитной индукции (закон Фарадея), устанавливающий взаимосвязь между магнитными и электрическими явлениями.

Индукционный зонд состоит из двух катушек – генераторной и приемной, размещенных на непроводящем и немагнитном стержне. Генераторная катушка подключена к генератору переменного тока ультразвуковой частоты (20-100 кГц) и питается стабилизированным по частоте и амплитуде током. Когда прибор находится в скважине, переменный ток, протекающий по генераторной катушке, создает переменное магнитное поле. Под действием этого поля в окружающих горных породах возникают вихревые токи, которые создают в пространстве вторичное переменное магнитное поле. Изменение во времени вторичного магнитного поля создает ЭДС в измерительной катушке, величина которой прямо пропорциональна электропроводности горных пород. Кроме того в приемной катушке наводится сигнал от первичного поля не связанный с горными породами, поэтому ЭДС, индуцированная прямым полем, компенсируется встречной ЭДС, равной первой по величине и противоположной по фазе, с помощью дополнительных катушек.

Активный сигнал фиксируется на поверхности измерительным устройством в виде кривой, отражающей изменение электропроводности пород по разрезу скважины. Точкой записи кривой является середина расстояния между центрами генераторной и измерительной катушек. Единицей измерения электропроводности пород является сименс на метр (См/м) – величина, обратная омметру (Ом·м). На практике используют тысячную долю сименса на метр – миллисименс на метр (мСм/м).

Глубинность исследования зондов индукционного метода по вертикали и горизонтали определяют их радиальные и вертикальные характеристики, называемые также графиками интегрального радиального и интегрального вертикального геометрических факторов.

Радиальные характеристики позволяют:

- 1) установить те минимальные диаметры цилиндров, которые не оказывают заметного влияния на сигнал, т.е. диаметры зоны исключения;
- 2) определить те максимальные диаметры цилиндров, при которых влияние наружной среды весьма незначительно, глубинность исследования.

Вертикальные характеристики дают возможность:

- 1) установить ту минимальную толщину пласта, при которой он может быть зафиксирован;
- 2) определить ту предельную толщину пласта, при которой можно пренебречь влиянием вмещающих пород на величину полного сигнала.

Основным преимуществом метода индукционного каротажа являются благоприятные пространственные характеристики: большой радиус исследования при ограниченной зоне влияния по вертикали. Индукционные зонды сравнительно небольших размеров (0,75-1,40 м) обладают значительным радиусом исследования. Для определения удельного сопротивления пласта ИК применяется в качестве метода с большой глубиной исследования в комплексе с одним или двумя зондами другого типа с малой и средней глубинностью исследования.

ИК позволяет добиться высокой точности результатов измерения в породах с малым удельным сопротивлением (менее 10 Ом·м), но имеет ограничения при исследовании пород удельного сопротивления свыше 200 Ом·м.

Применение низкочастотного индукционного метода ограничено в случае использования соленых промывочных жидкостей и наличия зоны проникновения фильтрата промывочной жидкости понижающей сопротивление пласта.

Индукционный метод наиболее чувствителен к прослоям повышенной электропроводности и почти не фиксирует прослой высокого удельного сопротивления.

Низкочастотный индукционный метод позволяет более детально расчленять разрезы скважин, сложенные породами низкого удельного сопротивления, выделять водоносные и нефтегазоносные пласты, изучать строение переходной зоны и уточнять положение контактов вода–нефть, вода–газ.[2]

В настоящее время нефтяные и газовые месторождения Западной Сибири хорошо изучены и разрабатываются длительное время. Здесь создана очень мощная инфраструктура для добычи и перекачки углеводородов. Из-за того, что в Когалымском районе Западной Сибири месторождения в основном разбурены и истощены, бурение происходит по краям площадей, уплотнение сетки и углубление скважин. В связи с этим при исследовании нефтяных и газовых скважин все чаще встречаются более сложные нефтеносные коллектора. Сложность заключается в том, что они чередуют с глинистыми пластами и становятся более тонкослойными. Так как одним из основных задач скважинной геофизики является подсчет запасов углеводородов и оценка экономической целесообразности дальнейшей разработки месторождения, на сегодняшний день очень актуален вопрос об определении тонкослойных нефтеносных коллекторов. При подсчете запасов

углеводородов нам необходимо знать точное значение эффективной мощности нефтяного пласта и коэффициент нефтенасыщенности, от которого напрямую зависят дальнейшие расчеты. Так же, в настоящее время на одной кустовой площадке бурятся так называемые зависимые скважины, бурение последующих зависит от данных предыдущей скважины. Где так же актуален вопрос о точных подсчетах.

В 2005 г. в ООО "Нефтегазгеофизика" была разработана пяти-зондовая скважинная аппаратура индукционного каротажа 5ИК. Она стала развитием хорошо зарекомендовавшей себя четырехзондовой аппаратуры ИКЗ-2 и ее последующих модификаций (ИКЗ-2М, ИКЗ-2-О, 4ИК и др.), выпускавшихся серийно с 1998 г. [2]

На базе аппаратуры 5ИК в ООО "Нефтегазгеофизика" завершена разработка технологии индукционного каротажного зондирования высокого разрешения. Технология, в частности, предусматривает процедуру цифровой базовой калибровки, цифровую регистрацию данных ИК, а также процедуру обработки результатов скважинных измерений, формирующую набор диаграмм синтетических зондов с заданными радиальными и вертикальными характеристиками. Для этого были разработаны алгоритмы построения диаграмм синтетических зондов аппаратуры 5ИК, впервые реализованные фирмой "Шлюмберже" в аппаратуре АИТ.[3]

Показания синтетических зондов индукционного каротажа в каждой точке рассчитываются как взвешенная сумма комбинаций активных и реактивных компонент физических зондов в нескольких точках по вертикали.

Учет реактивных компонент кажущихся проводимостей физических зондов дает возможность заметно уменьшить влияние проводимости среды на пространственные характеристики синтетических зондов. Если радиусы исследований и вертикальное разрешение исходных физических

зондов достаточно сильно зависят от проводимости среды, то использование реактивных компонент сигналов при построении синтетических зондов существенно ослабляет эту зависимость.

Использование диаграмм синтетических зондов с одинаковым высоким вертикальным разрешением и симметричными вертикальными характеристиками позволяет устранить проблему отмеченной выше значительной разницы в вертикальном разрешении разноглубинных физических зондов и повысить достоверность определения электрических параметров тонких пластов.

Таким образом, разработанная технология индукционного каротажного зондирования высокого вертикального разрешения обеспечивает:

- возможность получения диаграмм синтетических зондов различной радиальной глубинности (от 25 до 228 см) при одинаковом высоком вертикальном разрешении (60 или 120 см);

- повышение достоверности результатов интерпретации в тонких пластах по сравнению с существующими отечественными комплексами ЭМК (ИКЗ-2, 4ИК, ВИКИЗ и др.).

Высокая эффективность технологии подтверждена результатами скважинных исследований. Она может широко использоваться благодаря наличию транзитных вариантов кабельного и автономного исполнения аппаратуры 5ИК.[2]

Для повышения эффективности метода бокового каротажа ведущими каротажными компаниями разработаны многозондовые приборы БК.[4,6]

Учитывая наметившийся спрос на российском сервисном рынке к таким приборам, ООО "Нефтегазгеофизика" в 2013 г приступило к разработке своей модификации скважинного прибора многозондового бокового каротажа. На основе результатов моделирования и опыта предыдущих разработок приборов двойного бокового каротажа за основу реализации многозондового прибора БК была выбрана компоновка, которая включает в себя пять зондов типа БК-

5. Для совместимости с широко используемым в российской практике ГИС в компоновку добавлен также классический зонд БК-3.

Выбор геометрических размеров электродов проводился на основе анализа псевдогеометрических факторов моделируемых зондов с целью обеспечения глубинности измерения этих зондов, сопоставимой с глубинностью зондов конкурентных приборов БК[6]. Выполненные расчеты легли в основу геометрии зондовой установки разрабатываемого прибора. В результате был разработан скважинный прибор ЭК-ВР-76 на каротажном кабеле. Этот прибор позволяет проводить измерения КС пятью разноглубинными зондами бокового каротажа БК-5 и одним зондом бокового каротажа БК-3. Дополнительно измеряется потенциал ПС. Прибор ЭК-ВР-76 может эксплуатироваться как самостоятельно, так и в комплексе с другими геофизическими приборами серии "Каскад" производства ООО "Нефтегазгеофизика".

Вертикальное разрешение зондов составляет 0,165м. Реализованная зондовая установка прибора ЭК-ВР позволяет проводить исследования при УЭС бурового раствора от 0,02 до 20 Ом•м.

Для улучшения качества получаемого материала при работе в скважинах необходимо использовать отклонители известного диаметра из состава поставки аппаратуры.

В 2015 г совместно с ОАО "Когалымнефтегеофизика" проведены опытно-методические работы в сложных геолого-технических условиях ($\rho_c=0,05-0,06$ Ом-м) месторождений Западной и Восточной Сибири, которые подтвердили соответствие аппаратуры заявленным характеристикам.

Исследовалась работа прибора как поодиночке, так и в различных связках. Определялось влияние отклонителей и центраторов на показания коротких зондов.

На записях кривые зондов ЭК-ВР показывают хорошую сходимость и повторяемость в основной и повторной записи и коррелируют с кривыми БК, записанными прибором ЭК-73ПЛ и другими приборами ЭК.

После обработки материала и введения поправок за скважину по данным ЭК-ВР хорошо выделяются зоны проникновения, появляется возможность рассчитать значения УЭС пласта и относительный диаметр зоны проникновения.

Результаты проведенных опытно-промысловых работ подтвердили соответствие прибора ЭК-ВР заявленным характеристикам.

В результате внедрении выше описанных методик и приборов, вертикальное разрешение индукционного метода при использовании синтетических кривых повысилась и стало более точным, использование прибора ЭК-ВР позволило повысить вертикальное разрешение с 85 см (при БК-3) до 16,5 см. Эти два метода в комплексе широко используются при исследованиях разведочных и поисково-оценочных скважин пробуренных на нефть и газ на месторождениях Западной Сибири, так как хорошо дополняют друг друга.

Использованные источники:

1. Комаров С.Г. Геофизические методы исследования скважин. Изд. второе. М., "Недра" 1973
2. Методическое руководство по проведению индукционного каротажа аппаратурой 4ИК и первичной обработке данных. Тверь: 000 "Нефтегазгеофизика", 2005.
3. Watlet T.D., Roshal, R.A. Using a Multiarray Induction Tool to Achieve Highresolution Logs with Minimum Environmental Effects. Paper SPE 22725.

4. Открытая презентация компании Schlumberger «Laterolog Tools&Measurements: Environmental Effects and Tool Data Processing" // Isabelle Dubourg, SRPC, December 2003.

5. Салахов Т.Р., Юзмухсхметов К.Р., Клименко В.А. Прибор электрического многоэлектродного бокового каротажа // НТВ "Каротажник". Тверь: Изд. АИС. 2015. Вып. 11 (257). С. 71-80.

6. Хаматдгвнов Р.Т., Козяр В.Ф. и др. Техническая инструкции по проведению геофизических исследований и работ на кабеле в нефтяных и газовых скважинах. М, 2001.