

КАРОТАЖ В ПРОЦЕССЕ БУРЕНИЯ

ПРИМЕНЕНИЕ LWD НА ПРИМЕРЕ ПЛАСТА ЮВ₁ УРЬЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ



Современные исследования скважин — каротаж в процессе бурения LWD (logging while drilling) — позволяют экономить время на исследование скважин, в связи с чем значительно уменьшается зона проникновения фильтрата бурового раствора в пласт, что приводит к сокращению времени на его освоение. С помощью применения нейтронного и лито-плотностного каротажа во время бурения появляется возможность более корректно оценивать литологию и пористость пласта. Применение азимутальных методов каротажа позволяет определять угол и азимут напластования, а также другие структурные элементы пласта, необходимые для эффективной геонавигации в процессе бурения.

Одним из эффективных методов формирования оптимальной системы разработки является разбуривание нефтяных и газовых месторождений горизонтальными и многоствольными горизонтальными скважинами. Вскрытие пластов такими скважинами увеличивает площадь фильтрации и особенно эффективно для низкопроницаемых коллекторов.

Ярким примером такого низкопроницаемого коллектора является пласт ЮВ₁¹ Урьевского месторождения, где определяющим

фактором показателей работы как наклонно-направленных скважин (возможный расчет дебита по закону Дарси), так и горизонтальных (примером может служить расчет дебита по методике Джоши-Экономидеса), являются коллекторские свойства пласта ЮВ₁¹, в первую очередь, проницаемость. Фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) пород, слагающих пласт ЮВ₁¹ Урьевского месторождения (см. «Графики распределения ФЕС...» и «Среднедневзвешенные фильтрационно-емкостные свойства...»), в основ-

ном, относятся к V классу проницаемости по классификации А.А.Ханина, что указывает на их низкие фильтрационные характеристики.

В целом, пласт ЮВ₁¹ характеризуется зональным развитием коллекторов (неравномерное переслаивание песчаников, алевролитов и аргиллитов, с прослоями и линзами карбонатных пород), которые распространяются полосой субширотного простираения. Следует отметить, что основная масса глинистого цемента коллекторов имеет аутигенное про-

исхождение и представлена преимущественно каолином (до 70%) — глинистым минералом из группы водных силикатов алюминия, обладающим свойством пластичности.

Коллекторские свойства пласта ЮВ₁¹ изучены с достаточной плотностью: пористость изучалась на 1043 образцах, проницаемость — на 942 образцах, остаточная водонасыщенность — на 856 образцах. По сравнению с вышележащими пластами, коллекторы пласта ЮВ₁¹ имеют самые низкие значения ФЕС, как в среднем по пласту, так и по нефтенасыщенной части разреза.

LWD на Урьевском

Еще в 2008 году в Управлении по бурению ООО «ЛУКОЙЛ — Западная Сибирь» был создан отдел сопровождения бурения горизонтальных скважин, который в 2010 году был преобразован в Центр сопровождения бурения (далее ЦСБ). Одной из задач Центра является геолого-техническое сопровождение бурения скважин с горизонтальным окончанием ствола, бурения боковых горизонтальных стволов и многоствольных горизонтальных скважин, геонавигация в процессе бурения для оптимизации вскрытия продуктивной части пласта. Сотрудники Центра с помощью системы удаленного мониторинга в режиме реального времени оценивают геологические условия при бурении скважины и при необходимости корректируют ее траекторию.

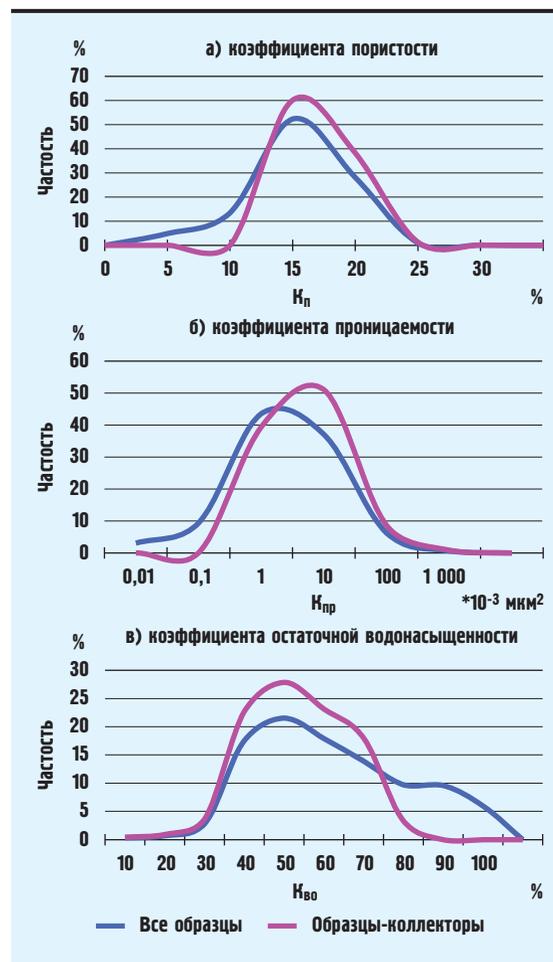
Одни из последних достижений при бурении горизонтальных скважин связаны с совместными работами специалистов ЦСБ и компании Weatherford на Урьевском месторождении. При их выполнении использовалось такое оборудование, как забойный двигатель, телеметрическая система и комплекс приборов каротажа во время бурения, позволяющий оценивать все петрофизические параметры вскрываемых пород, а также положение скважины относительно поверхностей напластов. До этого ООО «ЛУКОЙЛ — Западная Сибирь» и ее буровой подрядчик — Западно-Сибирский филиал ООО «Буровая компания

«Евразия» — уже применяли для геологической навигации при бурении приборы компании Weatherford: HAGR (прибор гамма-каротажа для условий, характеризующихся высокими давлениями и температурами) и MFR (прибор многочастотной электрометрии). Однако работы по регистрации и использованию полного комплекса LWD, позволяющего оценивать петрофизические свойства, являлись новыми опытно-методическими работами, и поэтому после бурения они дублировались традиционным каротажем на трубах комплексом «АГС Горизонталь».

Бурение горизонтального участка скважины было проведено с глубины 2948 м до глубины 3457 м по стволу (проектный забой) менее чем за четверо суток с регистрацией необходимых технологических и геофизических параметров, а также получением таких петрофизических параметров, как интервалы коллектора, глинистость, пористость, проницаемость, характер насыщения и нефтенасыщенность. Компонировка низа бурильной колонны включала в себя следующее оборудование: винтовой забойный двигатель WF 475 QLE7838-ML, интегрированный инклинометр IDS, высокотемпературный прибор азимутального гамма-каротажа HAGR, прибор многочастотного электрического каротажа MFR, прибор азимутальной плотности и литоплотностного каротажа AZD, прибор нейтронного каротажа по тепловым нейтронам TNP. Кроме геофизических приборов в компоновку входили датчик давления в трубах и затрубном пространстве ВАР и датчик вибрационных нагрузок ESM (названия приборов: IDS, HAGR, MFR, AZD, TNP, ВАР, ESM являются зарегистрированными торговыми марками компании Weatherford).

Отсутствие радиального градиента в данных электрического каротажа прибором MFR указывает на весьма незначительное проникновение фильтрата бурового раствора (первые сантиметры). На кривых электрического каротажа по затуханию амплитуды MFR (особенно малых зондов) в некоторых интервалах (см.

Графики распределения ФЕС образцов, отобранных из пласта ЮВ₁¹



«Фрагмент диаграммы имиджа плотности...», инт. 3137–3140 м) отмечается завышение удельного электрического сопротивления, что связано с использованием во время проработок ствола скважины добавок на нефтяной основе. На состоянии фазовых кривых данные добавки не повлияли.

По данным LWD горизонтальный ствол скважины вскрыл достаточно однородный коллектор (см. «Фрагмент диаграммы оперативного заключения...»), представленный нефтенасыщенными алевритовыми песчаниками. Исключение составил интервал неколлектора 2974,6–2975,3 м, представленный алевритами. Средневзвешенная общая пористость коллектора составила 18,1%, открытая пористость — 17,6%, глинистость — от 6,3%, проницаемость — 12,1 мД, нефтенасыщенность — 66,9%.

Средневзвешенные фильтрационно-емкостные свойства коллекторов объекта ЮВ, Урьевского месторождения

Залежь часть пласта	Пористость (Кп), %					Проницаемость, (Кпр), мД					Остаточная водонасыщенность (Кво), %				
	К-во скв	К-во обр.	Min	Max	Средне-взве-шенная	К-во скв	К-во обр.	Min	Max	Средне-взве-шенная	К-во скв	К-во обр.	Min	Max	Средне-взве-шенная
ЮВ 1(1)															
В целом	38	499	11,3	25,5	15,4	38	463	0,3	747,2	12,6	37	457	11,7	72,9	47,5
В том числе															
Нефтенасыщенная	22	354	11,3	22,5	15,1	22	334	0,3	747,2	12,6	22	326	11,7	71,7	46,0
Водонасыщенная	19	145	11,3	25,5	15,9	19	129	0,3	140,0	12,6	18	131	21,3	72,9	50,5
ЮВ 1(2)															
В целом	4	125	12,2	19,3	15,8	4	72	0,5	46,2	8,7	4	70	14,8	60,5	45,3
В том числе															
Нефтенасыщенная	2	88	12,2	19,1	15,2	2	48	0,5	23,0	5,6	2	46	39,0	60,5	48,4
Водонасыщенная	3	37	13,5	19,3	16,7	3	24	1,0	46,2	13,4	3	24	14,8	60,2	40,6

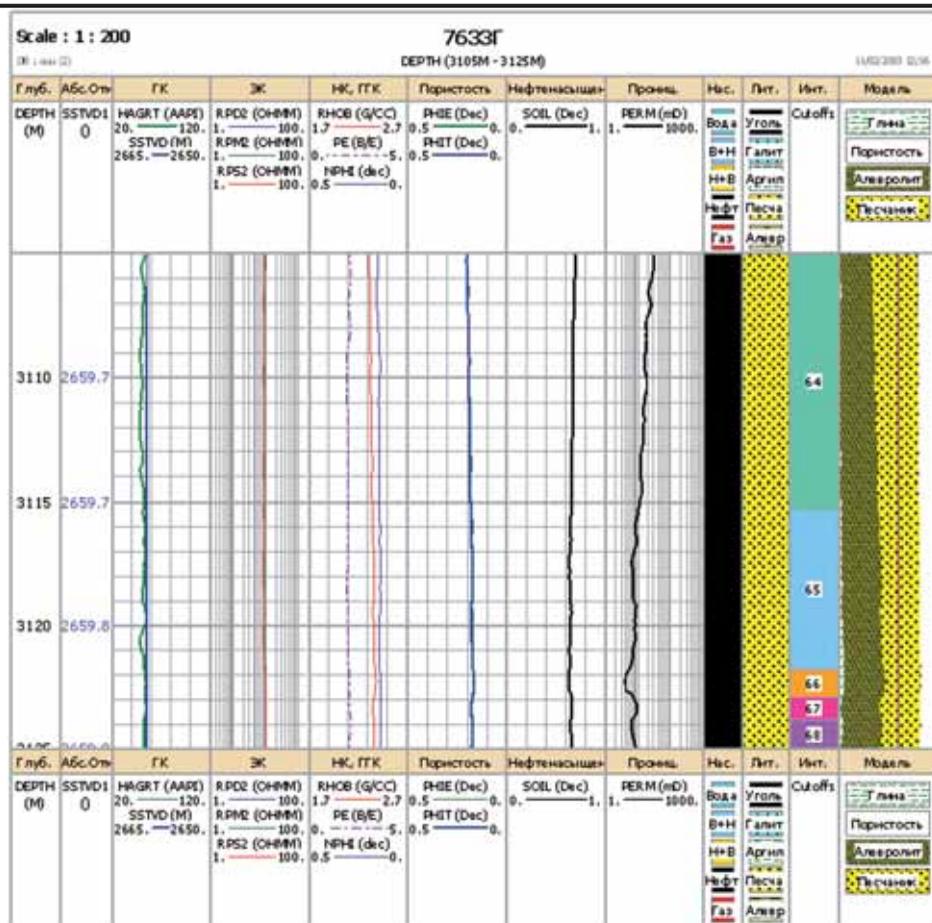
Сравнение

После подъема компоновки был проведен каротаж на трубах. Общее время проведения каротажа составило 29 часов, не считая времени на интерпретацию полученных данных.

При сопоставлении данных LWD и каротажа на трубах было отмечено следующее. Глубины методов и показания больших зондов электрического каротажа практически полностью соответствуют друг другу. Однако на кривых электрического каротажа «АГС Гори-

зонталь» отмечается расхождение показаний кривых (радиальный градиент) с пониженными удельными сопротивлениями на малых зондах, что обусловлено проникновением фильтрата бурового раствора в пласт (см. «Пример проникновения фильтрата...»).

Фрагмент диаграммы оперативного заключения, получаемого в режиме реального времени во время бурения скв. 7633 Урьевского месторождения



Комплекс «АГС Горизонталь» включал в себя приборы ГК, НК, ВИКИЗ и инклинометрии. По данным комплекса вскрытый пласт сложен песчаником. Средневзвешенная открытая пористость составила 20%, проницаемость — 14,6 мД, нефтенасыщенность — 71%. Отмечаются интервалы с аномально повышенной нейтронной пористостью при постоянных низких значениях ГК, которые были проинтерпретированы как неколлекторы, песчано-алевритовая порода.

Стоит отметить, что с помощью компоновки LWD компании Weatherford, по сравнению с «АГС Горизонталь», можно осуществлять дополнительный геофизический метод исследований — лито-плотностной каротаж с регистрацией объемной плотности пород и фотоэлектрического эффекта ρ_e . Это позволяет более точно оценивать литологию и, следовательно, пористость пласта, а также обнаруживать наличие газа. Так, по результатам кроссплот-анализа данных нейтронного и лито-плотностного каротажа в кровле горизонтального ствола был выделен нефтенасыщенный интервал с повышенным газовым фактором.

Кроме того, с помощью приборов азимутального гамма-каро-

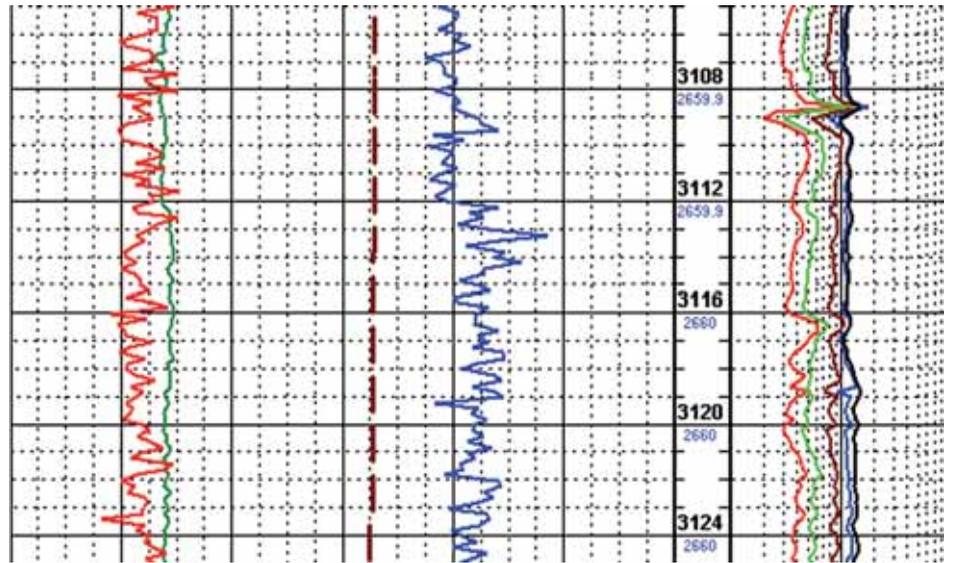
тажа HAGR и прибора азимутальной плотности AZD компоновка LWD получила возможность регистрировать азимутальные данные с построением имиджей и расчетом истинных углов и азимутов падения поверхностей напластования, и других структурных элементов пласта (таких, как трещины и разломы) еще во время бурения скважины. Это позволяет эффективно проводить геологическую навигацию в процессе бурения и оставаться в продуктивной части пласта. В качестве примера можно привести данные азимутальной плотности по скважине из памяти прибора (см. «Фрагмент диаграммы имиджа плотности...»). На имидже плотности видно, что песчаник достаточно однороден, выделяется только одна слабая граница, по которой можно оценить истинный угол падения поверхности напластования — 1,6 град. с азимутом 105,2 град. В то же время скважина на этой глубине идет под углом 90 град. с азимутом 86,7 град.

Выводы

Таким образом, можно отметить целый ряд преимуществ проведения исследований скважин во время бурения — LWD. Качество данных LWD не только не уступает получаемому при традиционном каротаже, но и превосходит его за счет малого времени, прошедшего после вскрытия пласта. Глубина проникновения фильтрата бурового раствора при исследовании LWD обычно составляет несколько сантиметров, что позволяет более точно оценить удельное электрическое сопротивление пласта, а следовательно, и его нефтенасыщенность, а также сократить время на освоение пласта.

Применение LWD значительно сокращает время на исследования скважины, т.к. исследования совмещены с бурением, в то время как проведение традиционного каротажа в горизонтальном стволе скважины требует дополнительных временных затрат (более суток). Результаты LWD и их интерпретация доступны специалистам еще во время бурения,

Пример проникновения фильтрата бурового раствора в пласт расхождение показаний кривых ВИКИЗ (справа)



что позволяет оперативно реагировать на изменения геологической обстановки.

Использование в компоновке LWD комплекса нейтронного и лито-плотностного каротажа позволяет более корректно оценивать литологию, пористость и характер насыщения пласта, чем при традиционном использовании в российской практике одного нейтронного каротажа.

С помощью применения азимутальных методов с построением имиджей LWD позволяет определять угол и азимут напластования, а также другие структурные элементы пласта и тем самым проводить эффективную геонавигацию в процессе бурения, а также уточнять структурные построения геологической модели месторождения. 

Фрагмент диаграммы имиджа плотности с изображением границы и вычисленным углом и азимутом падения поверхности напластования

