

Повышение эффективности проводки горизонтальных стволов путем комплексирования стратиграфического метода геонавигации и интерпретации азимутальных удельных электрических сопротивлений

Ю.В. Каплан (ООО «НьюТек Сервисез»)

Введение

В сложных геологических условиях геонавигация традиционным модельным методом, в том числе с использованием имиджей ГК и ГТК, имеющих низкую дальность измерений, теряет эффективность. В таких случаях обычно применяется азимутальный электромагнитный каротаж в процессе бурения с решением обратной задачи геофизики (инверсии). Однако такой сервис дорог, для качественных измерений требует применения роторной управляемой системы бурения и имеет ряд других существенных ограничений, описанных ниже.

Для решения проблемы предлагается применение практически не используемых в России стратиграфического метода геонавигации и азимутального бокового каротажа в процессе бурения.

Методика

Стратиграфический метод геонавигации появился в конце 90-х годов в США и Канаде, но до последнего десятилетия почти не распространялся за их пределы. Он работает практически противоположно традиционному модельному, «европейскому» методу геонавигации: кривые каротажа в процессе бурения сначала проецируются на истинные стратиграфические толщины соответственно геонавигационной модели, а полученные проекции отображаются на планшете каротажа опорной скважины по вертикали.

Геонавигация модельным методом заключается в достижении формального совпадения кривых каротажа в процессе бурения с спроецированными на ствол скважины кривыми каротажа опорной скважины по вертикали. На практике точное следование данному методу часто приводит к различным неоднозначным и неверным результатам, поэтому геонавигаторам рекомендуется просто игнорировать аномалии, дающие результаты, явно несоответствующие данной геологической структуре. Основой стратиграфического метода геонавигации является сигнатура коллектора, с которой сопоставляются кривые каротажа в процессе бурения. Концепция проста – при изменении кажущегося угла падения слоя, проекция на вертикаль кривой каротажа в процессе бурения будет соответственно сжиматься, растягиваться или переворачиваться (см. **Рисунок 1**). Как видим, наилучшая корреляция каротажа опорной скважины по вертикали с проекцией кривой каротажа в процессе бурения на истинную стратиграфическую толщину имеет место при кажущемся угле падения пласта -1° (91°), соответственно, этот угол принимается для геонавигационной модели на данном интервале бурения. Таким образом, стратиграфический метод геонавигации является более естественным и геологически понятным, чем модельный.

Если корреляция с опорной скважиной теряется, стратиграфический метод позволяет продолжить геонавигацию, коррелируя кривые каротажа в процессе бурения сами с собой. Таким путем он сохраняет работоспособность, когда модельный метод перестает работать.

Практика подтвердила целесообразность совместного использования обоих корреляционных методов, при этом стратиграфический метод является ведущим, а модельный используется для тонкой окончательной подстройки геонавигационной модели [1].

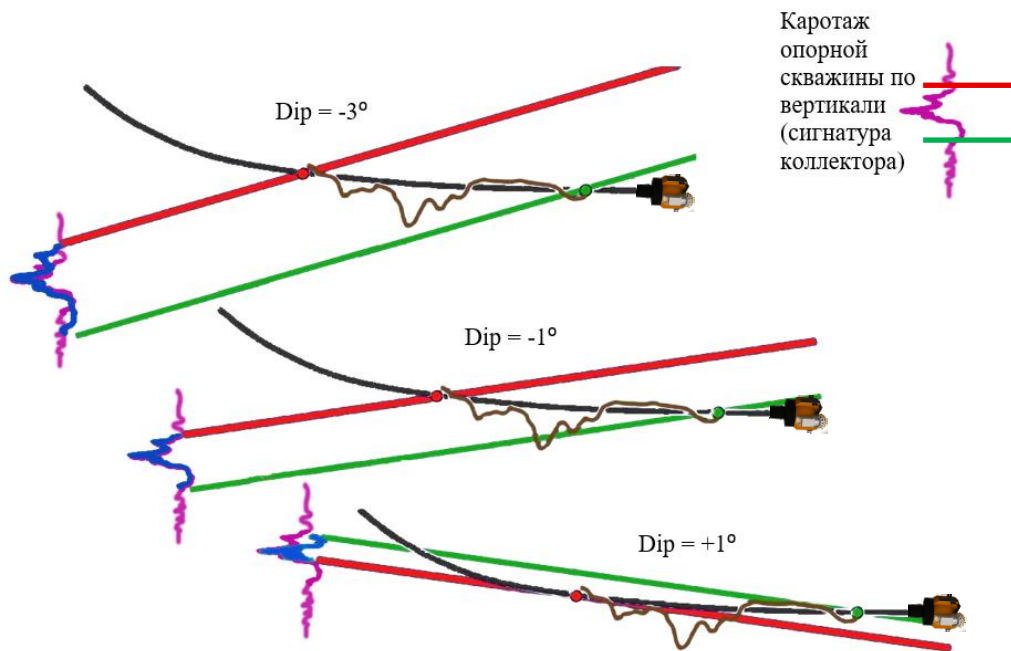


Рисунок 1. Принцип стратиграфического метода геонавигационной корреляции

При латеральных изменениях пласта или при бурении в чередующихся пропластках с повторяющимися петрофизическими свойствами, корреляционные методы геонавигации теряют эффективность, поэтому возрастает роль методов непосредственной регистрации приближающихся границ. Классические имиджи Гамма и Гамма-Гамма каротажей в процессе бурения позволяют определить стратиграфическое направление бурения и угол падения границы, но данные методы имеют низкую дальность измерения – менее 10 см. Поэтому они регистрируют кровлю или подошву коллектора слишком поздно для корректировки траектории бурящегося ствола (см. **Рисунок 2**). Методы сопротивлений: Электромагнитный каротаж (ЭМК) и Электрический боковой каротаж (БК) в процессе бурения позволяют регистрировать приближающиеся границы на большей на порядок дистанции, что позволяет своевременно скорректировать траекторию при малых углах атаки, которые обеспечиваются корректировками траектории по данным стратиграфического метода геонавигации.

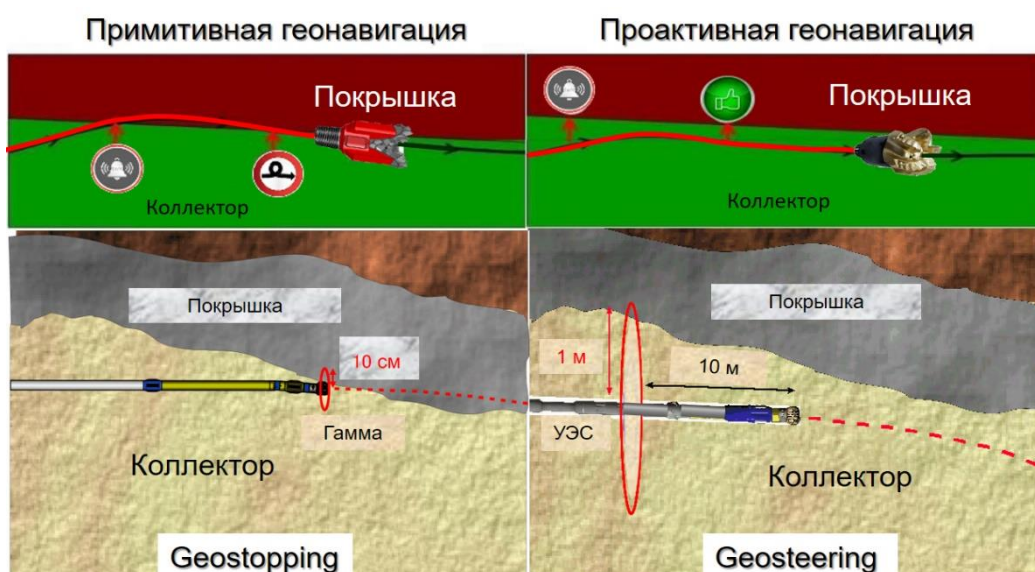


Рисунок 2. Преимущество электрического каротажа в процессе бурения над Гамма и Гамма-Гамма

Азимутальный ЭМК в процессе бурения может иметь дальность измерений более 10 м, значительно превышающую необходимую дистанцию обнаружения границ при геонавигации внутри коллектора. Наиболее значительными недостатками ЭМК в сравнении с БК являются невозможность удаленного обнаружения приближения пласта с большим удельным электрическим сопротивлением (УЭС) и невозможность получения имиджей, пригодных для определения стратиграфического направления бурения (см. **Рисунок 3**). Как видим, имидж БК и его составляющие: кривые УЭС сверху и снизу ствола показывают пересечение снизу-вверх границы между низкоомным и высокоомными пластами.

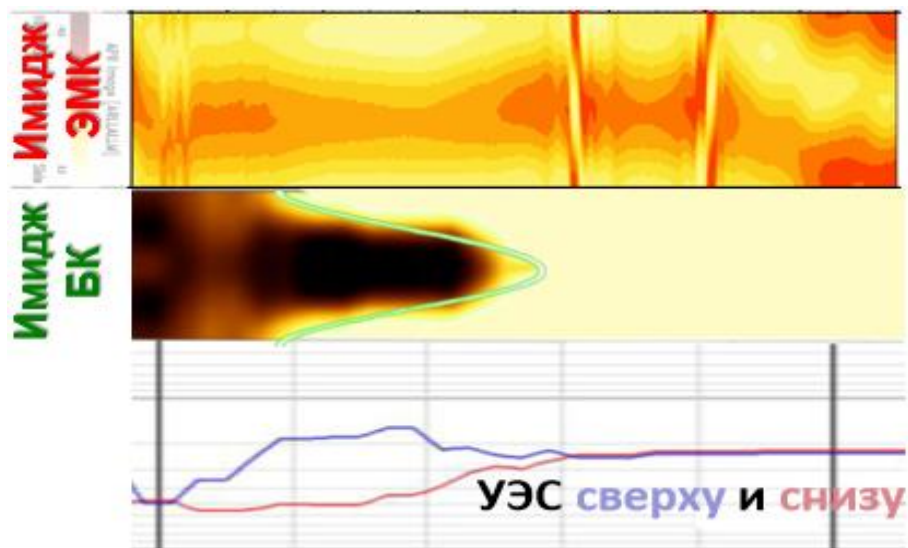


Рисунок 3. Псевдо-имидж ЭМК не позволяет определить стратиграфическое направление бурения, в то время как азимутальный БК предоставляет имиджи сопротивления, качественно интерпретируемые также, как классические имиджи ГК и ГГК. Также стратиграфическое направление бурения: вверх или вниз может быть определено по двум кривым верхнего и нижнего квадрантов азимутального БК в процессе бурения

Выводы

В сложных геологических условиях стратиграфический метод геонавигации сохраняет работоспособность, когда модельный метод перестает работать [1].

Удаленная регистрация приближающихся границ азимутальным БК в процессе бурения позволяет однозначно определять как стратиграфическое направление бурения, так и УЭС сверху и снизу ствола и, тем самым, надежно корректировать направление бурения [1].

Благодарности

Автор выразит благодарность Джону Скиллингу, глобальному менеджеру сервиса навигации коллекторов (Reservoir Navigation Services™) компании BHGE, который был его первым учителем геонавигации.

Библиография

1. Каплан Ю.В. [2018] Опыт применения малобюджетной азимутальной геонавигации для проводки горизонтальных стволов нефтедобывающих скважин в поясе Ориноко. Доклад в рамках 15-й Московской международной выставки «НЕФТЬ И ГАЗ» (MIOGE).

References

1. Yuri Kaplan [2018] The experience of using low budget azimuthal geosteering horizontal wellbores of oil producing wells in Orinoco belt. The presentation at the 15th Moscow International Exhibition “Oil & Gaz” (MIOGE).