

УДК 531.746:550.832

И. В. Гринев, А. Б. Королев, В. Н. Ситников, О. В. Гасанов
ООО «Нефтегазгеофизика»

ВЛИЯНИЕ РАДИАЛЬНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОЛЯ ОСТАТОЧНОЙ НАМАГНИЧЕННОСТИ НА ПОКАЗАНИЯ ИНКЛИНОМЕТРА

Показано, что вектор поля остаточной намагниченности буровой колонны и сборки геофизических приборов может быть направлен под углом к оси инклинометра, причем влияние радиальной составляющей в наибольшей степени проявлено при вращении сборки. Проведено моделирование указанного случая и получена формула для компенсации паразитного влияния. Результаты обработки данных в реальных скважинах демонстрируют адекватность представленной модели, которая может быть применена как во время бурения или каротажа, так и при апостериорной обработке данных.

Ключевые слова: инклинометр, остаточная намагниченность, магнитная индукция, повышение точности показаний азимута.

Введение

Известно, что поле остаточной намагниченности (ПОН) буровой колонны и сборки геофизических приборов может существенно искажать геомагнитное поле (ГМП) в области расположения магнитометров и, как следствие, приводить к погрешностям в измерении азимута оси ствола скважины. Очевидно, что чем больше величина ПОН и чем ближе к его источнику расположен инклинометр, тем больше погрешность расчетного азимута. Помимо этого, на величину погрешности влияют направление оси ствола скважины, а также параметры вектора ГМП в месте измерений [4].

Корректировка магнитного азимута на влияние ПОН по формуле из работ авторов [4, 5] дает хорошие результаты для большинства скважин. Напомним, что данная формула получена из предположения, что вектор ПОН направлен по оси инклинометра. Аналогично в методах компенсации, представленных в других работах, проводится предварительное измерение [8, 9] или вычисление в процессе работы только осевой составляющей паразитного поля. Из методов второй группы можно выделить наиболее распространенный «метод короткого УБТ»* [3, 6, 7], в котором используются известные для

* Утяжеленные буровые трубы.

места проведения каротажа угол наклона и модуль ГМП, а также метод использования дополнительной триады магнитометров [1, 2], которая вместе с основной триадой магнитометров образует градиентометр.

Однако при обработке некоторых скважин метод [5], учитывающий только осевую составляющую паразитного поля, не работал в полной мере, что привело к заключению о его существенных недоработках. Было замечено, что метод не подходит для ряда случаев, когда в процессе эксплуатации сборка вращалась.

В связи с этим авторами был рассмотрен случай несимметричного ПОН, то есть с вектором ПОН, имеющим значительный угол расхождения с осью инклинометра (рис. 1). В первую очередь в качестве источника такой асимметричной составляющей общего ПОН рассматривались ближайшие к инклинометру геофизические приборы (в случае бурения речь может идти о забойном двигателе). Таким образом, в представленную ранее модель [4] была внесена несоосность вектора ПОН и оси инклинометра. Как показали расчеты в проблемных скважинах, данное уточнение является существенным шагом вперед в части совершенствования модели, которая может быть использована при компенсации ПОН как во время бурения или каротажа, так и при автоматизации апостериорной обработки инклинометрических данных.

Теоретическая модель

Если ввести вектор индукции ПОН – $\vec{\Delta h}$, то можно записать проекции суммы полей ПОН и ГМП на оси системы координат с центром в точке расположения магнитометров (рис. 1):

$$\begin{cases} x_i = H \cos \psi + \Delta h \sin \theta_i'' \cos \alpha_i'', \\ y_i = \Delta h \sin \theta_i'' \sin \alpha_i'', \\ z_i = H \sin \psi + \Delta h \cos \theta_i''. \end{cases} \quad (1)$$

Направление осей системы координат: X – на магнитный север, Y – на магнитный восток, Z – к центру Земли. В компонентах формулы (1): $H = |\vec{H}|$ и ψ – модуль и угол наклона вектора ГМП в месте проведения измерений; $\Delta h = |\vec{\Delta h}|$ – модуль вектора индукции ПОН; θ_i'' и α_i'' – зенитный угол и азимут вектора ПОН, вычисляемые по формулам:

$$\theta_i'' = \theta_i - \hat{\theta}_i, \quad (2)$$

$$\alpha_i'' = \alpha_i - \hat{\alpha}_i, \quad (3)$$

где углы θ_i и α_i – зенитный угол и азимут инклинометра;

$$\hat{\theta}_i = \arctg (\tg (\theta_{\Delta h}) \cos (\varphi_i + \varphi_{\Delta h})), \quad (4)$$

$$\hat{\alpha}_i = \arctg \left(\frac{\tg (\theta_{\Delta h}) \cos (\varphi_i + \varphi_{\Delta h})}{\sin \theta_i} \right) \quad (5)$$

– отклонения направления вектора ПОН от θ_i и α_i . В (4) и (5) $\theta_{\Delta h}$ – угол между вектором ПОН и осью инклинометра; $\varphi_{\Delta h}$ – визирный угол вектора ПОН относительно нуля визирного угла (φ_i) инклинометра (рис. 1).

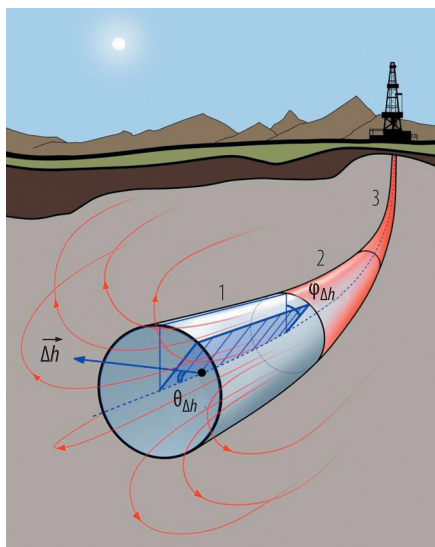


Рис. 1. ПОН: 1 – инклинометр; 2 – сборка приборов; 3 – бурильная колонна или кабель; черной точкой отмечено место расположения магнитометров

Фактически формулы (2)–(5) дают возможность вычислить направление $\vec{\Delta h}$ в зависимости от ориентации $\vec{\Delta h}$ относительно корпуса инклинометра ($\theta_{\Delta h}$ и $\varphi_{\Delta h}$) и ориентации в пространстве самого инклинометра (θ_i , α_i и φ_i).

Зная компоненты (1), можно рассчитать ошибку определения азимута

$$\Delta\alpha_i = \alpha'_i - \alpha_i = -\arctg(y_i/x_i), \quad (6)$$

где α'_i – измеренное значение азимута инклинометра.

Решив относительно α_i уравнение (6), получим следующую формулу для вычисления скорректированного на величину ПОН магнитного азимута:

$$\alpha_i = 360 \cdot \Omega(p_i) - p_i \cdot \arccos \left\{ \frac{k_i \sqrt{H^2 \cos^2 \psi (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha'_i) - \omega_i^2 \Delta h^2 \sin^2 \theta''_i - q_i \omega_i \Delta h \sin \theta''_i \operatorname{tg} \alpha'_i}}{H \cos \psi (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha'_i)} \right\}, \quad (7)$$

где $k_i = \operatorname{sgn}(\cos \alpha'_i)$; $p_i = -\operatorname{sgn}(\sin \alpha'_i)$; $q_i = \operatorname{sgn}(\omega_i \operatorname{tg} \alpha'_i)$ – знаки; $\Omega(p_i)$ – функция Хевисайда соответствующего аргумента; величина ω_i вычисляется по формуле

$$\omega_i = \sin \hat{\alpha}_i - \operatorname{tg} \alpha'_i \cos \hat{\alpha}_i. \quad (8)$$

В том случае, если вектор ПОН и ось прибора коллинеарны, то есть $\theta_{\Delta h} = \theta$, уравнение (7) преобразуется в формулу

$$\alpha_i = 360 \cdot \Omega(p_i) - p_i \cdot \arccos \left\{ \frac{k_i \sqrt{H^2 \cos^2 \psi (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha'_i) - \Delta h^2 \sin^2 \theta_i \operatorname{tg}^2 \alpha'_i - \Delta h \sin \theta_i \operatorname{tg}^2 \alpha'_i}}{H \cos \psi (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha'_i)} \right\}, \quad (9)$$

представленную ранее в работах [4, 5].

Результаты корректировки

С использованием формулы (7) была проведена корректировка азимута в автономных скважинах (рис. 2) с вращением сборки приборов. В рассматриваемых скважинах наблюдалось от одного полного до нескольких оборотов: визирный угол для рассматриваемых случаев приведен на рис. 3б.

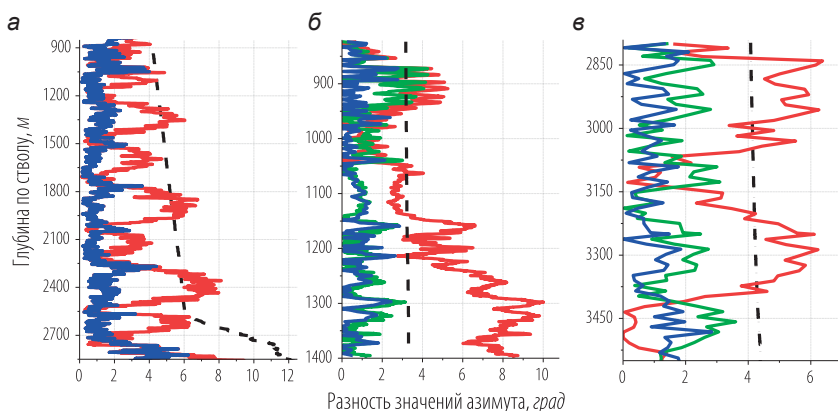


Рис. 2. Абсолютная разность азимутов инклинометра и телесистемы до и после корректировки магнитной помехи в скважинах на месторождениях: а – Северо-Лабатьюганское; б – Метелинское; в – Ватьеганское.

Кривые на рисунке: красная – разность азимутов без корректировки; зеленая – разность азимутов с корректировкой по формуле (9); синяя – разность азимутов с корректировкой по формуле (7); черная пунктирная – допустимая разность азимутов

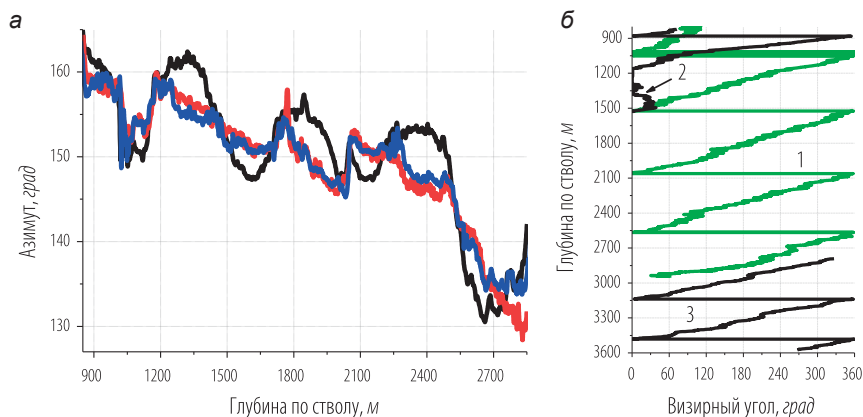


Рис. 3. Значения азимутов инклинометра и телесистемы до и после корректировки магнитной помехи на Северо-Лабатьюганском месторождении (а); вращения в скважинах с рис. 2: 1 – Северо-Лабатьюганское; 2 – Метелинское; 3 – Ватьеганское месторождения (б).

Кривые на рисунке: красная – азимут телесистемы; черная – азимут инклинометра без корректировки; синяя – азимут инклинометра с корректировкой по формуле (7)

Как показали расчеты, помимо компенсации в случаях со значительным расхождением азимутов ПОН и оси инклинометра (рис. 2а), формула (7) позволяет в значительной степени повысить точность в тех скважинах (рис. 2б, 2в), для которых удовлетворительные результаты давала формула (9) для симметричного относительно оси инклинометра ПОН. На рис. 2б $\theta_{\Delta h} = 10 \text{ град}$, $\Delta h = 4,8\%$ от ГМП. Без учета несоосности в диапазоне глубин от 850 до 950 м формула (9) не позволяет полностью скорректировать разность азимутов в рамки допуска. На рис. 2в $\theta_{\Delta h} = 32 \text{ град}$, $\Delta h = 2,1\%$ от ГМП; формула (7) позволяет повысить точность корректировки на 30%.

Кривые рис. 2а требуют отдельного рассмотрения: значения азимута для них приведены на рис. 3а, а угла поворота – на рис. 3б (кривая 1). Параметры ПОН в скважине: $\theta_{\Delta h} = 41 \text{ град}$, $\Delta h = 4,9\%$ от ГМП. Из приведенных данных случай единственный, для которого удовлетворительных результатов нельзя было добиться при помощи формулы (9) в связи с большими величинами индукции и отклонения ПОН от оси. Подобные случаи достаточно редки, но существенным достоинством новой формулы (7) является то, что она не только имеет более высокую точность в сравнении с формулой (9), но и в силу большей детальности модели позволяет более точно определять параметры ПОН при апостериорной обработке на основе снятых в скважине данных [5].

Заключение

Показано, что формула (7) является существенным шагом в совершенствовании модели влияния ПОН сборки геофизических приборов и бурильной колонны, так как позволяет учитывать не только симметричные, но и асимметричные варианты ПОН, в том числе в случае вращения сборки. Данная формула может быть применена не только для апостериорной обработки данных скважинной и забойной инклинометрии, но и для внесения правок непосредственно в процессе работы забойных инклинометров, а также плат инклинометров, включенных в другие геофизические методы, без удаления на достаточное расстояние от ферромагнитных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Биндер Я. И., Вольфсон Г. Б., Гаспаров П. М., Ключикин П. А., Розенцвейг В. Г. Компенсация магнитных помех в феррозондовом инклинометре // Гироскопия и навигация. 2005. № 1. С. 68–75.
2. Биндер Я. И., Ключикин П. А., Тихонов А. Г. Экспериментальное исследование магнитометрической системы ориентации ствола скважины с компенсацией магнитных помех // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2010. Вып. 1 (190). С. 61–67.
3. Горичка М. В., Кузнецов А. Б., Абзалов З. З., Бевзенко В. А. Замеры высокого разрешения // Бурение и нефть. 2018. № 9. С. 12–17.
4. Гринев И. В., Королев А. Б., Ситников В. Н. Влияние остаточной намагниченности бурильной колонны и сборки геофизических приборов на показания инклинометра // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2019. Вып. 4 (298). С. 87–95.
5. Гринев И. В., Королев А. Б., Ситников В. Н. Компенсация влияния поля остаточной намагниченности бурильной колонны и сборки геофизических приборов на показания инклинометра // НТВ «Каротажник». Тверь: Изд. АИС. 2020. Вып. 1 (301). С. 104–111.
6. Кейн С. А., Трохов В. В. Разработка технико-технологических рекомендаций по повышению качества выполнения проектной траектории наклонно-направленных скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2015. № 1. С. 6–9.
7. Поваляхин А. С., Калинин А. Г., Бастриков С. Н., Солодкий К. М. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин. М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2011. 647 с.
8. Рыжков И. В., Ковшов Г. Н. Расчет магнитной девиации инклинометра в условиях буровой // Вестник Приднестровской государственной академии строительства и архитектуры. 2011. № 11–12 (164–165). С. 86–91.
9. Сидоров А. А., Харбаш В. Я., Шурыгин С. В. Способ определения и компенсации магнитной девиации инклинометра. Патент РФ № 2186966, 2002 г.

Рецензия получена