

КОМПЕНСАЦИЯ ДЕВИАЦИИ АЗИМУТАЛЬНОГО КАНАЛА ИНКЛИНОМЕТРА

COMPENSATION OF DEVIATION
OF THE AZIMUTH CHANNEL OF INCLINOMETER

УДК 550.832

С.А. АФОНИН

Инженер 1 категории конструкторского отдела №1 научно-производственного предприятия геофизической аппаратуры (НПП ГА) «Луч»

Новосибирск
afonin-4-1984@rambler.ru

S.A. AFONIN

Category 1 Engineer in Design & Engineering Department #1 of Scientific Production Enterprise of Geophysical Equipment «Looch» (SPE «Looch»)

Novosibirsk

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:
KEYWORDS:

инклинометр, погрешности определения азимута, девиация азимута
inclinometer, azimuth determination errors, azimuth deviation

Экспериментально исследована девиация (отклонение показаний от действительных) азимутального канала инклинометра, возникающая при вращении прибора по углу отклонителя: изучена природа возникновения этого явления, определены причины отклонения показаний. Найдены технические решения для уменьшения этого вида помехи. Предложены и опробованы простые для реализации способы компенсации девиации. Выполнен сравнительный анализ каротажных записей до и после проведенной доработки инклинометра.

The paper describes experimental research on deviation (the drift of readings from the true values) of the azimuth channel of an inclinometer occurring when the tool rotates along the whipstock orientation angle: the nature of the appearance of this event is studied, and the causes of the drift of readings are determined. The engineering solutions for reducing this type of interference are found. Easy for implementation methods for compensating deviation are suggested and tested. The comparison analysis of the logs recorded before and after accomplishing the inclinometer improvement is performed.

Актуальность. В состав разработанных в НППГА «Луч» комплексов геофизической аппаратуры для каротажа включен модуль инклинометра. Для измерения зенита, азимута и угла отклонителя в нем используются покупные датчики ориентации как отечественные (например, МИД-35С, Кварц 32.1), так и их зарубежные аналоги (например, Applied Physics Model 750).

В настоящее время разработкой датчиков ориентации занимается ряд специализированных отечественных и зарубежных фирм. Производимые инклинометры отличаются малым диаметром, что позволяет использовать их в составе измерительных модулей геофизической аппаратуры. При этом они обладают вы-

сокими техническими и метрологическими показателями, реализованы различные способы повышения виброустойчивости, ударопрочности и помехозащищенности.

Но в ходе скважинных испытаний инклинометров в составе комплексов геофизической аппаратуры была обнаружена девиация показаний азимута, возникающая при вращении прибора по углу отклонителя. При равномерных спуске и подъеме прибора в скважине показания азимута соответствуют реальным, но при неравномерном движении вследствие крутящего момента геофизического кабеля возникает осевое вращение инклинометра. В этом случае показания азимута отклоняются на значения, в большинстве

случаев превышающие допустимые, существенно снижая достоверность получаемых геофизических данных. На рис. 1 приведен участок каротажной диаграммы, где виден уход показаний азимута при вращении прибора и возврат к исходным значениям при замедлении вращения.

Данное явление в той или иной мере проявлялось при использовании датчиков различных производителей, существенно искажало данные при каротаже и требовало исследования.

Причины появления девиации. Проведенные исследования прибора в инклинометрической установке подтвердили явление девиации. Во время вращения модуля по углу отклонителя при ►

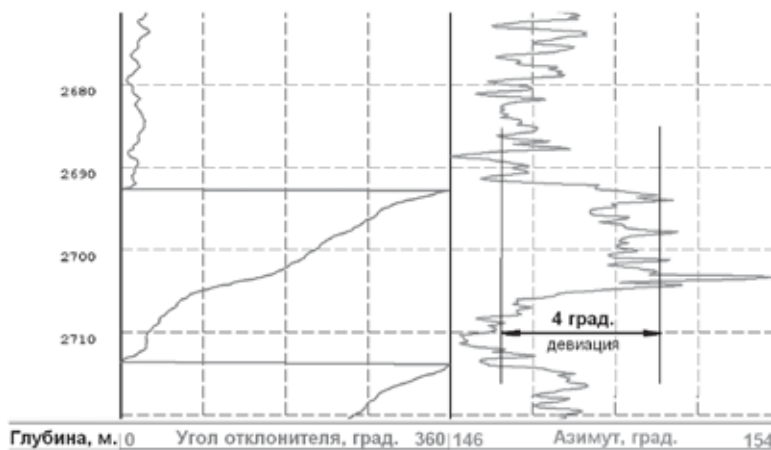


Рис. 1. Участок каротажной диаграммы

зафиксированных положениях зенита и азимута наблюдалось значительное отклонение показаний азимута от установленных. При остановке вращения показания возвращались к исходным значениям. Амплитуда девиации непостоянна, зависит от скорости вращения, исходных значений зенита и азимута. На рис. 2 приведён пример девиации азимутального канала датчика Applied Physics Model 750 при вращении по углу отклонителя со скоростью 6 об./мин. Участок 1-2 соответствует вращению инклинометра в сторону увеличения угла отклонителя, участок 2-3 – остановке вращения, участок 3-4 – вращению в сторону уменьшения угла отклонителя.

Для анализа природы явления и причин девиации с модуля инклинометра были сняты показания первичных датчиков во время вращения. На рис. 3 приведены графики нормированных показаний акселерометров (тонкими линиями) и магнитометров (толстыми линиями) датчика Applied Physics Model 750. Участок 1 – показания датчиков до вращения прибора по углу отклонителя, участок 2 – при вращении прибора, участок 3 – при прекращении вращения.

Из рисунка видно, что показания акселерометров отстают по времени от показаний магнитометров. Это обусловлено введением производителем дополнительной фильтрации показаний акселерометров для повышения виброустойчивости инклинометра.

В инклинометрах с неподвижными первичными датчиками, к которым относятся используемые в приборе датчики ориентации, полный вектор магнитного поля Земли измеряется при помощи ортогональной системы феррозондовых датчиков. Для вычисления азимута вычисляется горизонтальная составляющая вектора, т.е. проекция на горизонтальную плоскость. Для этого с помощью трехкомпонентного акселерометра определяется направление вертикали в приборной системе координат, после чего вычисляются величина и направление горизонтальной составляющей магнитного поля Земли по отношению к скважине[1]. Рис. 4 поясняет процедуру определения азимута в инклинометрах с неподвижными первичными датчиками.

Для вычисления проекции полного вектора магнитного поля на горизонтальную плоскость в датчиках ориентации Applied Physics Model 750 используются следующие формулы[2]:

$$H_x = \frac{M_x(A_y^2 + A_z^2) - M_y A_y A_x - M_z A_x A_z}{G \sqrt{(A_y^2 + A_z^2)}} \quad (1)$$

$$H_y = \frac{M_y A_z - M_z A_y}{\sqrt{(A_y^2 + A_z^2)}} \quad (2)$$

где M_x, M_y, M_z – показания магнитометрических датчиков;
 A_x, A_y, A_z – показания акселерометров;
 G – полная гравитационная составляющая.

Азимут вычисляется по формуле: ►

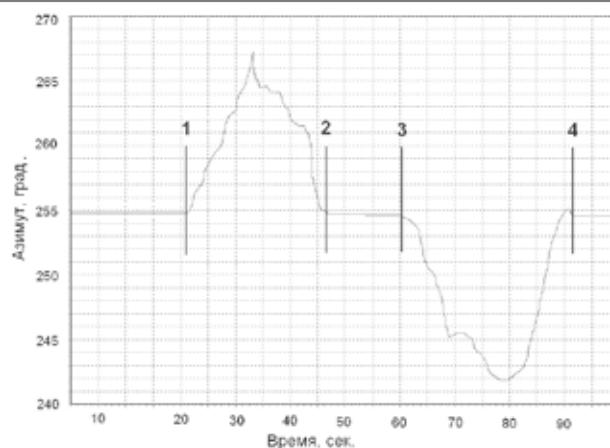


Рис. 2. Уход показаний азимута при осевом вращении модуля в инклинометрической установке:
 участок 1-2 – вращение прибора в сторону увеличения угла отклонителя;
 участок 1-2 – остановка вращения;
 участок 3-4 – вращение прибора в сторону уменьшения угла отклонителя;

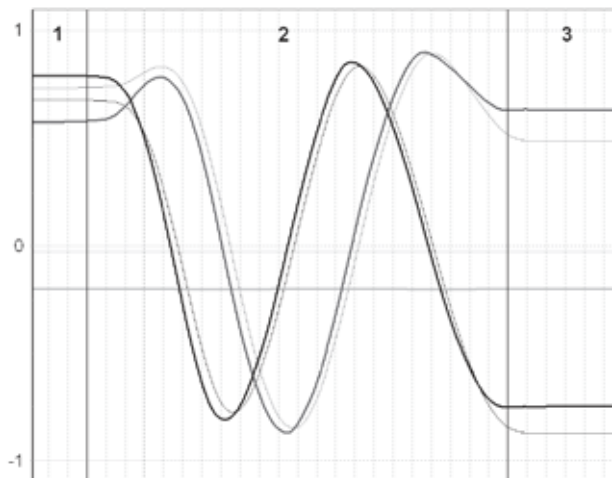


Рис. 3. Показания первичных датчиков при вращении инклинометра по углу отклонителя

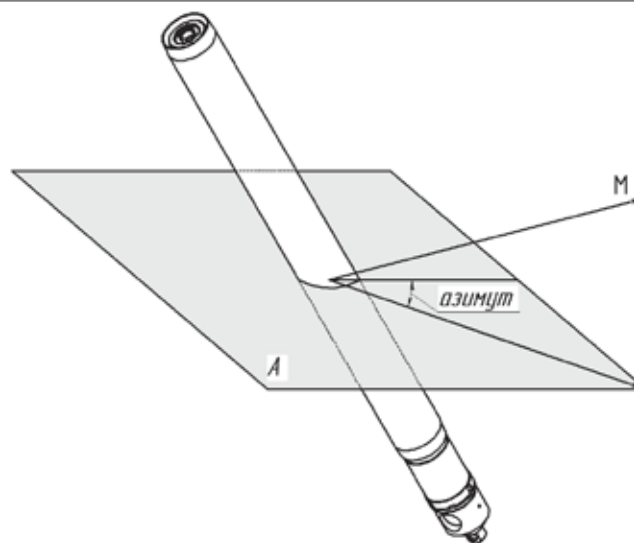


Рис. 4. Определение азимута в инклинометрах с неподвижными первичными датчиками: М – полный магнитный вектор;
 А – горизонтальная плоскость, построенная по показаниям акселерометров

$$Azim = \arctan\left(\frac{-H_y}{H_x}\right) \quad (3)$$

Как видно из формул, для расчета азимута используются мгновенные показания как магнитометрических датчиков, так и акселерометров.

При дополнительной фильтрации показания акселерометров имеют большую постоянную времени, чем показания магнитометров. Поэтому при вычислении проекций полного магнитного вектора на горизонтальную плоскость по формулам (1) и (2) используются не мгновенные, а отстающие по времени показания акселерометров.

$$Hx_n = \frac{M_{zn}(A_{y(n-1)}^2 + A_{z(n-1)}^2) - M_{yn}A_{y(n-1)}A_{z(n-1)} - G_{n-1}\sqrt{(A_{y(n-1)}^2 + A_{z(n-1)}^2)} - M_{zn}A_{z(n-1)}A_{y(n-1)}}{G_{n-1}\sqrt{(A_{y(n-1)}^2 + A_{z(n-1)}^2)}} \quad (4)$$

$$Hy_n = \frac{M_{yn}A_{z(n-1)} - M_{zn}A_{y(n-1)}}{\sqrt{(A_{y(n-1)}^2 + A_{z(n-1)}^2)}} \quad (5)$$

где M_{xn} , M_{yn} , M_{zn} – мгновенные показания магнитометров;

$A_{x(n-1)}$, $A_{y(n-1)}$, $A_{z(n-1)}$ – отстающие по времени показания акселерометров.

Таким образом, во время вращения инклинометра проекция магнитного вектора строится на горизонтальную плоскость, «отстающую» от реальной на разность постоянных времени фильтров первичных датчиков. При малой скорости вращения несинхронность обработки оказывает незначительное влияние, но при увеличении скорости вращения во время каротажа погрешность может достигать 10-20°. Рис. 5 поясняет причины появления девиации при вращении инклинометра по углу отклонителя.

Компенсация девиации. После изучения причин возникновения девиации были разработаны технические и численные способы уменьшения этого вида помехи:

- обеспечение одинаковых постоянных времени фильтрации акселерометрической и магнитометрической систем инклинометра;
- синхронизация аналого-цифрового

преобразования показаний первичных датчиков;

- обеспечение помехоустойчивости не через фильтрацию данных первичных преобразователей, а через фильтрацию выходных данных, например, проекций вектора магнитного поля на горизонтальную плоскость.
- введение дополнительной цифровой фильтрации, обеспечивающей задержку показаний магнитометров на время, компенсирующее разность постоянных времени фильтрации каналов первичных датчиков.

Разработанные способы уменьшения девиации были использованы при обработке показаний датчика ориентации Applied Physics Model 750. Для обеспечения одинаковой постоянной времени фильтрации акселерометрических и магнитометрических датчиков инклинометра используется простой цифровой фильтр скользящее среднее[3] с разностным уравнением:

$$y(n) = \sum_{i=0}^P b_i x(n-i) \quad (6)$$

где $x(n)$ – входной сигнал фильтра;

$y(n)$ – выходной сигнал;

b_i – коэффициенты фильтра.

Этот фильтр прост в реализации, при этом его применение позволило обеспечить равные постоянные времени для показаний магнитометрических датчиков и акселерометров. Это усовершенствование на порядок уменьшило девиацию показаний азимута при вращении модуля. При последующих скважинных испытаниях отклонение показаний азимута при вращении модуля инклинометра не превышало 0,5°. На рис. 6 приведен участок каротажной диаграммы после произведенной доработки модуля инклинометра.

Результаты исследования. На данный момент определено, что причиной девиации азимутального канала инклинометра, возникающей при вращении прибора по углу отклонителя, является несинхронность обработки показаний первичных датчиков: акселерометрических и магнитометрических систем инклинометра. Вследствие этого во время вращения инклинометра проекция магнитного вектора строится на горизонтальную плоскость, «отстающую» от реальной на разность постоянных времени фильтров первичных датчиков. Найдены и опробованы способы уменьшения девиации. Скважинные испытания модуля инклинометра показали, что проведенное усовершенствование позволило значительно увеличить достоверность получаемых инклинометрических данных. ■

ИСПОЛЬЗУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Исаченко В.Х. Инклинометрия скважин. -М.: Недра, 1987. 216 с.
2. Applied Physics Systems model 750. Directional sensor user manual and technical reference, 2006.
3. Э. Опенгейм. Применение цифровой обработки сигналов — Москва: Мир, 1980.

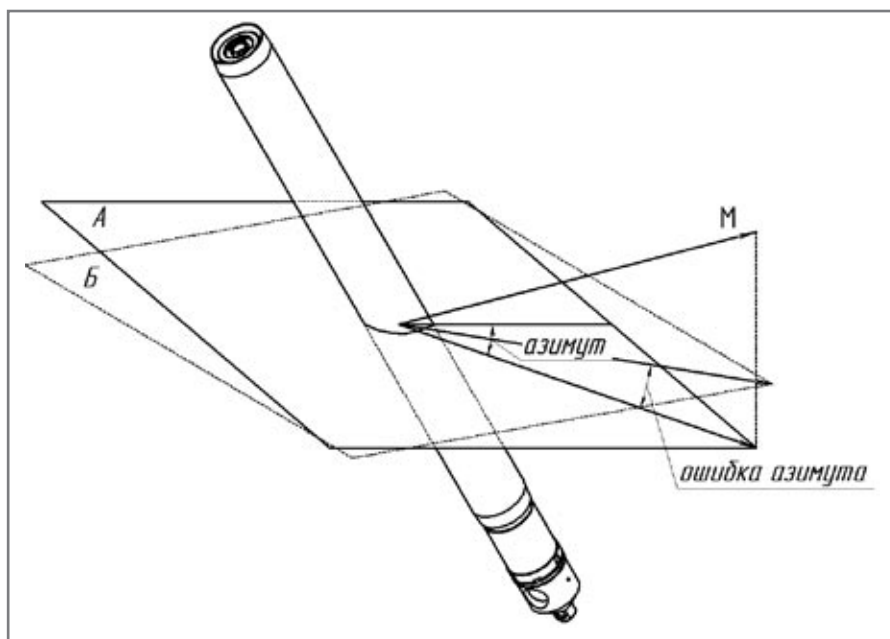


Рис. 5. Причина появления девиации: М – полный магнитный вектор;
А – реальная горизонтальная плоскость;
Б – «отстающая» горизонтальная плоскость, построенная по показаниям акселерометров

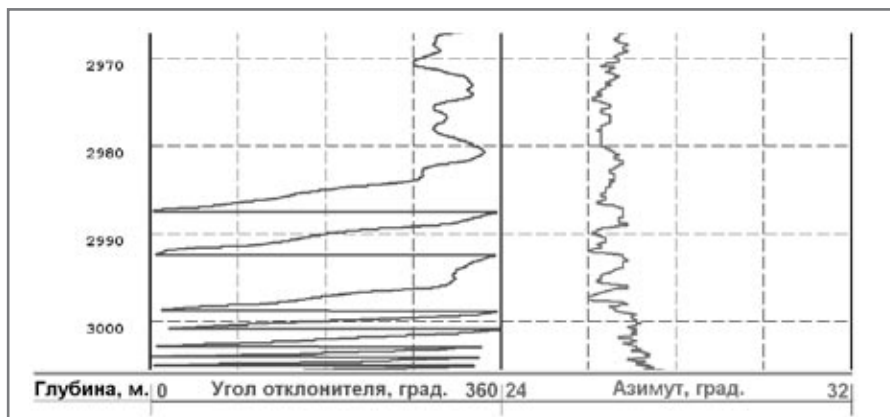


Рис. 6. Участок каротажной диаграммы после проведения доработки