

# Компенсация девиации азимутального канала инклинометра

С.А. Афонин

**ИНГГ СО РАН**

ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ «ЛУЧ»

# Введение

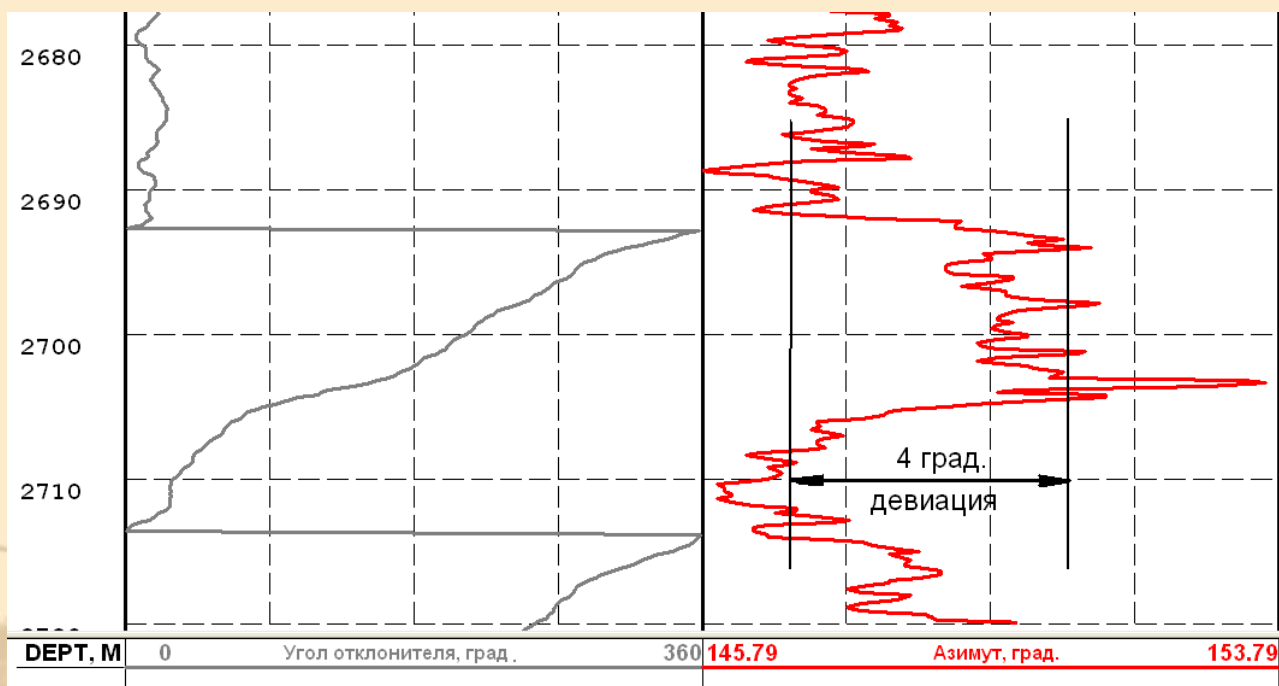
В состав разработанных в НППГА "Луч" комплексов геофизической аппаратуры включен модуль инклинометра. Для измерения зенита, азимута и угла отклонителя в нем используются покупные датчики ориентации, как отечественные, например МИД-35С, Кварц 32.1, так и их зарубежные аналоги, например Applied Physics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



**Рис 1.** Модуль инклинометра кабельного комплекса СКЛ-76.

В ходе скважинных испытаний была обнаружена девиация показаний азимута, возникающая при вращении прибора по углу отклонителя. Данная погрешность в той или иной мере проявляется у всех используемых датчиков.

В большинстве случаев погрешность значительно превышает допустимую, существенно снижая достоверность получаемых геофизических данных.

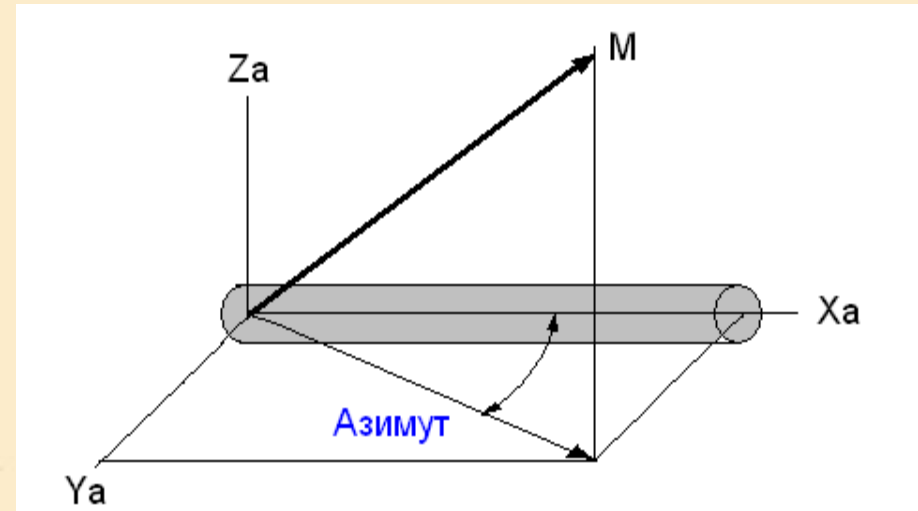


**Рис 2.** Девиация показаний азимута при вращении прибора во время каротажа

# Определение азимута в инклинометрах с неподвижными первичными датчиками

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 направления вычисляется горизонтальная составляющая вектора, 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.



**Рис 3.** Определение азимута:  
M – полный магнитный вектор;  
XaYa – горизонтальная плоскость

Проекции полного вектора магнитного поля на горизонтальную плоскость вычисляются по следующим формулам:

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

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

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:

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

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

**ИНГГ СО РАН**

ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ «ЛУЧ»

## Причина появления девиации

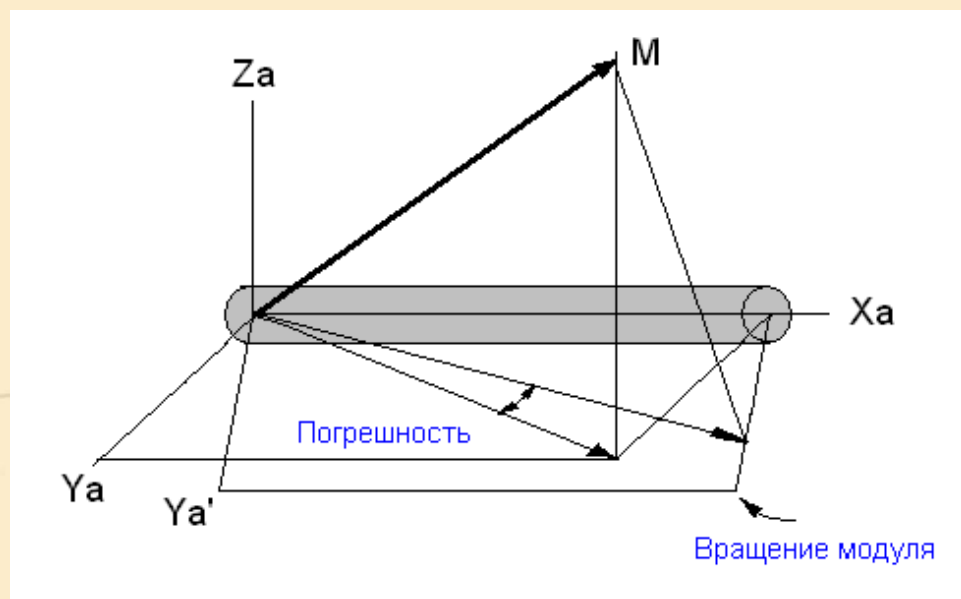
В ходе испытаний на инклинометрическом столе выяснилось, что причиной отклонения азимута является разная обработка показаний первичных датчиков. Показания акселерометров подвергаются дополнительной фильтрации, вследствие чего имеют большую постоянную времени, чем показания магнетометров.

Поэтому при вычислении проекций полного магнитного вектора на горизонтальную плоскость по формулам (1) и (2) используются не мгновенные, а усреднённые значения акселерометров, отстающие во времени.

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

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

Таким образом, во время вращения инклинометра проекция магнитного вектора строится на горизонтальную плоскость, «отстающую» от реальной на постоянную времени фильтров. При малой скорости вращения несинхронность обработки оказывает незначительное влияние, но при увеличении скорости вращения во время каротажа погрешность может достигать 10-20 градусов.



**Рис 4.** Причина появления девиации:  
 $M$  – полный магнитный вектор;  
 $XaYa$  – реальная горизонтальная плоскость;  
 $XaYa'$  – горизонтальная плоскость, построенная по показаниям акселерометров

## Уменьшение погрешности

Для компенсации девиации показаний азимута при вращении прибора по углу отклонителя была введена дополнительная цифровая фильтрация, обеспечивающая задержку показаний магнетометров на время, равное постоянной времени канала акселерометров.

С этой целью используется цифровой фильтр скользящее среднее с разностным уравнением:

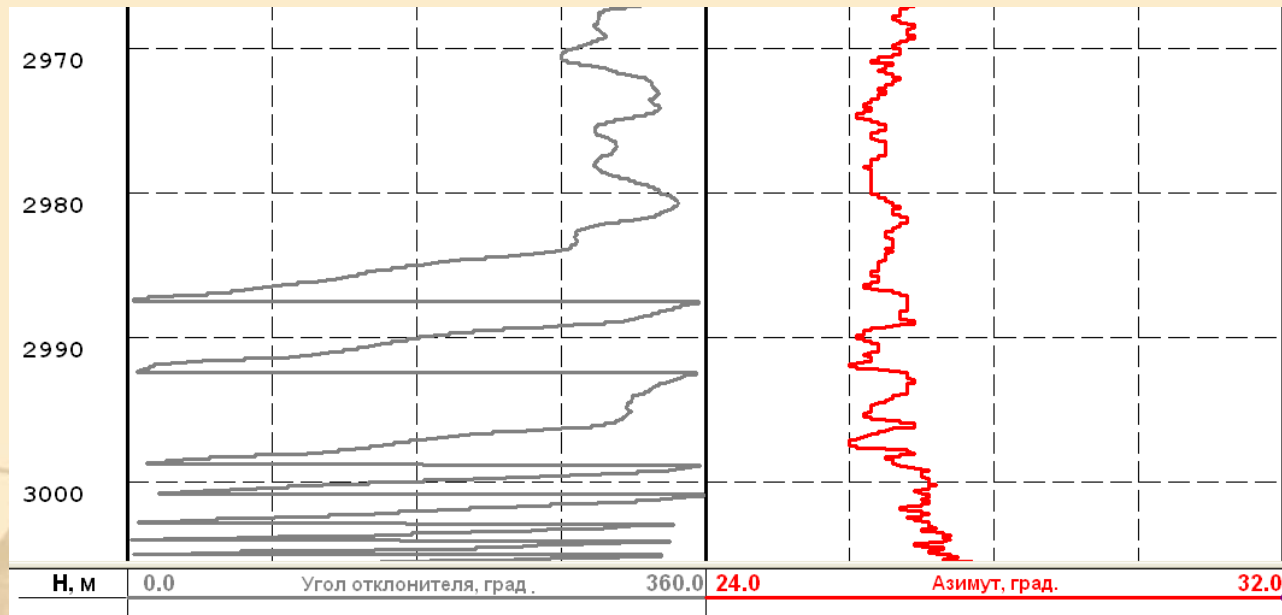
$$y(n) = \sum_{i=0}^P b_i x(n-i) , \quad (6)$$

где  $x(n)$  – входной сигнал фильтра;  $y(n)$  – выходной сигнал;  $b_i$  – коэффициенты фильтра.



# Результаты

Применение дополнительной цифровой фильтрации позволило обеспечить равные постоянные времени для показаний магнитометрических датчиков и акселерометров. Эта модернизация на порядок уменьшила девиацию показаний азимута при вращении модуля.



**Рис 5.** Показания азимута при вращении прибора после проведенной доработки

**ИНГГ СО РАН**

ИНСТИТУТ НЕФТЕГАЗОВОЙ ГЕОЛОГИИ И ГЕОФИЗИКИ  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК



НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ «ЛУЧ»