УДК 53.088

УЧЕТ ДЕВИАЦИИ ОТ ПОСТОЯННОЙ МАГНИТНОЙ ПОМЕХИ ОБСАЖЕННЫХ СКВАЖИН ПРИ ИЗМЕРЕНИИ УГЛА ПОЛОЖЕНИЯ ОТКЛОНИТЕЛЯ

к. т. н., доц. Рыжков И. В., к. т. н. Пономарева Е. А.
ГВУЗ «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», г. Днепропетровск

Постановка проблемы.

Снаряженный буровой инструмент, в составе которого в немагнитной вставке размещен инклинометр, искажает магнитное поле Земли. Это приводит к погрешности вычисления азимута наклонной скважины или магнитного угла установки отклонителя на вертикали [1,2,3].

При восстановлении скважин старого фонда прокладывают новую наклонно-направленную скважину из уже ранее пробуренной и обсаженной. В этом случае начальную ориентацию отклонителя бурового инструмента в заданном направлении осуществляют из разрушенного специальным инструментом участка обсаженной скважины. Здесь необходимо ориентировать отклонитель на вертикальном участке относительно магнитного меридиана в условиях влияния магнитной помехи от старой обсаженной скважины.

Цель.

Целью данной работы является учет математической модели девиации от постоянной магнитной помехи обсаженных скважин с целью повышения точности измерения визирного угла.

Основная часть.

Магнитная помеха в виде постоянной намагниченности от обсаженных скважин **неизменна** относительно Земли. Иначе вектор постоянной намагниченности задан в системе координат, связанной с Землей $R_0(0\xi\eta\zeta)$, и имеет следующие координаты:

$$\vec{T}_{1R_0} = (a, b, c).$$

Проекции же этого вектора в подвижной системе координат R(0XYZ), связанной с буровым инструментом и инклинометром, найдутся из векторного уравнения: $\vec{T}_{1R} = A\varphi_{(3)}\vec{T}_{1Rx_0}$.

$\vec{T}', \vec{T}''$ в виде проекций выходных сигналов с феррозондов имеет следующие координаты:

$$\vec{T}' = (a_1'(\psi), a_2'(\psi), a_3'(\psi)), \qquad \vec{T}'' = (a_1''(\psi), a_2''(\psi), a_3''(\psi)).$$

Считаем, что на неизвестном угле положения отклонителя ψ_0 изменились проекции магнитного поля на оси чувствительности феррозондов инклинометра от постоянной магнитной помехи $\vec{T}_1$ создаваемой обсаженной скважиной, неподвижной относительно Земли. Определим компоненты вектора $\vec{T}_1$ позволяющего вычислить магнитную девиацию, а также угловое положение отклонителя ψ_0 относительно магнитного меридиана. Если через $\vec{T}_1'$ обозначить напряженность магнитного поля, измеряемого феррозондами, а через $\vec{T}_1''$– напряженность после появления магнитной помехи $\vec{T}_1$, то на оси чувствительности феррозондов воздействует магнитное поле, равное:

$$\vec{T}'' = \vec{T}' + \vec{T}_1.$$

$$a_1''(\psi) = a_1'(\psi) + a cos\psi + b sin\psi,$$
$$a_2''(\psi) = a_2'(\psi) - a sin\psi + b cos\psi, \qquad (1)$$
$$a_3''(\psi) = a_3'(\psi) + c.$$

Для определения искомых величин практически можем поворачивать всю колонну труб вокруг продольной оси на углы 0÷ 360°, измеряя при этом сигналы с магниточувствительных преобразователей инклинометра. Таким образом, определим вектор $\vec{T}''(\psi)$ на отрезке $[\psi_0, \psi_0 + 2\pi]$ в точках $\psi_0 < \psi_1 < \psi_2 < \cdots < \psi_n \le 2\pi + \psi_0$. Из прежних измерений известны проекции вектора $\vec{T}' = (a_1'(\psi), a_2'(\psi), a_3'(\psi))$ в интервале [0,2π].

Разложим проекции векторов $\vec{T}' = (a_1'(\psi), a_2'(\psi), a_3'(\psi))$, $\vec{T}'' = (a_1''(\psi), a_2''(\psi), a_3''(\psi))$ в ряды Фурье, так как они являются периодическими функциями периода 2π:

$$a_1'(\psi) = \frac{\alpha_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty}(\alpha_n cos\, n\psi + \beta_n sin\, n\psi),$$

$$a_2'(\psi) = \frac{\gamma_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty}(\gamma_n cos\, n\psi + \delta_n sin\, n\psi),$$

$$a_3'(\psi) = \frac{\lambda_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty}(\lambda_n cos\, n\psi + \mu_n sin\, n\psi), \qquad (2)$$

$$a_1''(\psi) = \frac{\tilde{\alpha}_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty}(\tilde{\alpha}_n cos\, n\psi + \tilde{\beta}_n sin\, n\psi),$$

$$a_2''(\psi) = \frac{\tilde{\gamma}_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty}(\tilde{\gamma}_n cos\, n\psi + \tilde{\delta}_n sin\, n\psi),$$

$\alpha_3''(\psi) = \frac{\tilde{\lambda}_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty}\left(\tilde{\lambda}_n \cos n\psi + \tilde{\mu}_n \sin n\psi\right).$

Подставив функции (1) в равенства (2), получим:

$$\begin{aligned}
&\alpha_0 = \tilde{\alpha}_0,\\
&\alpha_1 + a = \tilde{\alpha}_1,\\
&\beta_1 + a = \tilde{\beta}_1,\\
&\alpha_n = \tilde{\alpha}_n, \beta_n = \tilde{\beta}_n, n = 2,3\ldots,\\
&\gamma_0 = \tilde{\gamma}_0,\\
&\gamma_1 + b = \tilde{\gamma}_1,\\
&\delta_1 - a = \tilde{\delta}_1,\\
&\gamma_n = \tilde{\gamma}_n, \delta_n = \tilde{\delta}_n, n = 2,3\ldots,\\
&\lambda_0 + 2c = \tilde{\lambda}_0,\\
&\lambda_n = \tilde{\alpha}_n, \mu_n = \tilde{\mu}_n, n = 1,2,3\ldots
\end{aligned} \tag{3}$$

Величины $\alpha_n, \beta_n \gamma_n, \delta_n, \lambda_n$ и μ_n вычисляются согласно формулам Эйлера-Фурье:

$$\begin{aligned}
&\alpha_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} \alpha_1'(\psi) \cos n\psi \, d\psi,\\
&\gamma_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} \alpha_2'(\psi) \cos n\psi \, d\psi,\\
&\lambda_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} \alpha_3'(\psi) \cos n\psi \, d\psi, \quad n = 0,1,2,3\ldots\\
&\beta_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} \alpha_1'(\psi) \sin n\psi \, d\psi,\\
&\delta_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} \alpha_2'(\psi) \sin n\psi \, d\psi,\\
&\mu_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} \alpha_3'(\psi) \sin n\psi \, d\psi, \quad n = 0,1,2,3,\ldots
\end{aligned} \tag{4}$$

а величины $\tilde{\alpha}_n, \tilde{\beta}_n, \tilde{\gamma}_n, \tilde{\delta}_n, \tilde{\lambda}_n$ и $\tilde{\mu}_n$ из следующих формул

$$\tilde{\alpha}_n = \frac{1}{\pi}\cos n\,\psi_0 \int_0^{2\pi} a_1''\,(\psi_0 + \psi')\cos n\psi' d\psi' -$$

$$-\frac{1}{\pi}\sin n\,\psi_0 \int_0^{2\pi} a_1''\,(\psi_0 + \psi')\sin n\psi' d\psi',$$

$$\tilde{\gamma}_n = \frac{1}{\pi}\cos n\,\psi_0 \int_0^{2\pi} a_2''\,(\psi_0 + \psi')\cos n\psi' d\psi' -$$

$$-\frac{1}{\pi}\sin n\,\psi_0 \int_0^{2\pi} a_2''\,(\psi_0 + \psi')\sin n\psi' d\psi',$$

$$\tilde{\lambda}_n = \frac{1}{\pi}\cos n\,\psi_0 \int_0^{2\pi} a_3''\,(\psi_0 + \psi')\cos n\psi' d\psi' -$$

$$-\frac{1}{\pi}\sin n\,\psi_0 \int_0^{2\pi} a_3''\,(\psi_0 + \psi')\sin n\psi' d\psi',$$

n=0,1,2,3,…, (5)

$$\tilde{\beta}_n = \frac{1}{\pi}\cos n\,\psi_0 \int_0^{2\pi} a_1''\,(\psi_0 + \psi')\sin n\psi' d\psi' +$$

$$+\frac{1}{\pi}\sin n\,\psi_0 \int_0^{2\pi} a_1''\,(\psi_0 + \psi')\cos n\psi' d\psi',$$

$$\tilde{\delta}_n = \frac{1}{\pi}\cos n\,\psi_0 \int_0^{2\pi} a_2''\,(\psi_0 + \psi')\sin n\psi' d\psi' +$$

$$+\frac{1}{\pi}\sin n\,\psi_0 \int_0^{2\pi} a_2''\,(\psi_0 + \psi')\cos n\psi' d\psi',$$

$$\tilde{\mu}_n = \frac{1}{\pi}\cos n\,\psi_0 \int_0^{2\pi} a_3''\,(\psi_0 + \psi')\sin n\psi' d\psi' +$$

$$+\frac{1}{\pi}\sin n\,\psi_0 \int_0^{2\pi} a_3''\,(\psi_0 + \psi')\cos n\psi' d\psi',$$

n=0,1,2,3,…

Для более компактной записи исходных уравнений введем следующие обозначения:

$$\rho_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} a_1''(\psi_0 + \psi')\cos n\psi' d\psi',$$

$$q_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} a_1''(\psi_0 + \psi')\sin n\psi' d\psi',$$

$$\rho_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} a_1''(\psi_0 + \psi')\cos n\psi' d\psi',$$

$$Q_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} a_2''(\psi_0 + \psi')\sin n\psi' d\psi', \qquad (6)$$

$$r_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} a_3''(\psi_0 + \psi')\cos n\psi' d\psi',$$

$$l_n = \frac{1}{\pi}\int_0^{2\pi} a_3''(\psi_0 + \psi')\sin n\psi' d\psi', \quad n=0,1,2,\dots$$

Далее, учитывая (5.43) формулы (5.44) перепишем следующим образом:

$$\tilde{\alpha}_n = \rho_n cos\, n\psi_0 - q_n sin\, n\psi_0,$$

$$\tilde{\beta}_n = q_n cos\, n\psi_0 + \rho_n sin\, n\psi_0,$$

$$\tilde{\gamma}_n = P_n cos\, n\psi_0 - Q_n sin\, n\psi_0,$$

$$\tilde{\delta}_n = Q_n cos\, n\psi_0 + P_n sin\, n\psi_0, \qquad (7)$$

$$\tilde{\lambda}_n = r_n\, cos\, n\psi_0 - l_n sin\, n\psi_0,$$

$$\tilde{\mu}_n = l_n cos\, n\psi_0 + r_n sin\, n\psi_0, \quad n=0,1,2,\dots$$

Учитывая формулы (4) и (7) получим систему уравнений для определения искомых проекций a, b, c вектора намагниченности буровых труб неподвижных относительно Земли и начальный угол ψ_0 положения отклонителя, при котором появилась магнитная помеха.

$$\alpha_1 + a = \rho_1 cos\psi_0 - q_1 sin\psi_0,$$

$$\beta_1 + b = q_1 cos\psi_0 + \rho_1 sin\psi_0,$$

$$\alpha_n = \rho_n cosn\psi_0 - q_n sinn\psi_0, \quad n = 2,3,\dots,$$

$$\beta_n = q_n cosn\psi_0 + \rho_n sinn\psi_0, \quad n = 2,3,\dots,$$

$$\gamma_1 + b = P_1 cos\psi_0 - Q_1 sin\psi_0,$$

$$\delta_1 - a = Q_1 cos\psi_0 + P_1 sin\psi_0, \qquad (8)$$

$$\beta_n = P_n cosn\psi_0 + Q_n sinn\psi_0, \quad n = 2,3,\dots,$$

$$\delta_n = Q_n cosn\psi_0 + P_n sinn\psi_0, \quad n = 2,3,\dots,$$

$$\lambda_0 + 2c = \tilde{\lambda}_0,$$

$$\lambda_n = r_n\, cos\, n\psi_0 - l_n sin\, n\psi_0, \quad n = 1,2,\dots,$$

$\mu_n = l_n cos\, n\psi_0 - r_n sin\, n\psi_0, \quad n = 1,2,\dots$

Здесь $\tilde{\alpha}_n, \tilde{\beta}_n, \tilde{\gamma}_n, \tilde{\delta}_n, \tilde{\lambda}_n, \quad \tilde{\mu}_n,$ вычисляются по формулам (7), а $\rho_n, q_n, Q_n, r_n, l_n$ – по формулам (6).

Система уравнений (8) позволяет однозначно определить проекции a, b, c вектора намагниченности буровых труб и начальное положение ψ_0 отклонителя. Например, если $\lambda_1 \neq 0, \ \mu_1 \neq 0$, то из уравнений $\lambda_1 = r_1 cos\psi_0 - l_1 sin\psi_0, \quad \mu_1 = l_1 cos\psi_0 + r_1 sin\psi_0$ однозначно определяется положение отклонителя ψ_0 относительно магнитного меридиана и тогда

$a = \rho_1 cos\psi_0 - q_1 sin\psi_0 - \alpha_1,$

$b = q_1 cos\psi_0 + \rho_1 sin\psi_0 - \beta_1,$

$c = \frac{1}{2}\left(\tilde{\lambda}_0 - \lambda_1\right).$

Выводы:

1. Предложен способ определения компонент вектора постоянной намагниченности буровых труб, создающих магнитную девиацию в показаниях инклинометра. Способ основывается на измерении сигналов с магниточувствительных датчиков инклинометра при повороте всей колонны труб с инклинометром в диапазоне $0 \div 360^\circ$ с последующей математической обработкой полученных результатов.
2. предложены математические зависимости, позволяющие вычислить магнитную девиацию от постоянной намагниченности буровых труб при различных значениях угла установки отклонителя с последующим ее устранением в показаниях инклинометра.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Рыжков И.В. Математическая модель феррозондового инклинометрического преобразователя с учетом погрешности от колонны буровых труб / И.В. Рыжков, Г.Н. Ковшов, Е.А. Пономарева, А.В. Садовникова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2008. – №1 – 2. – С. 35 – 39.
2. Пономарева Е.А. Расчет и алгоритмическая компенсация магнитной девиации инклинометра / Е.А. Пономарева, Г.Н. Ковшов, И.В. Рыжков, А.В. Садовникова // Прикладные задачи математики и механики: междунар. науч. – техн. конф., 14 – 18 сент. 2009 г.: тезисы докл. – Севастополь, 2009. – С. 216 – 221.
3. Ковшов Г.Н. Инклинометры. (Основы теории и проектирования) / Ковшов Г.Н., Алимбеков Р.И., Жибер А.В. – Уфа: Гилем, 1998. – 380 с.