УДК 550.837

DOI: 10.21440/0536-1028-2021-6-32-41

# К вопросу о повышении точности инклинометрии в процессе бурения нефтегазовых скважин

Теплухин В. К.1, Зенков В. В.1, Ратушняк А. Н.2\*, Байдиков С. В.2

1 Компания «Петротул-НБ», г. Октябрьский, Республика Башкортостан, Россия
2 Институт геофизики УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия
\*e-mail: geo\_info@mail.ru

## Реферат

Введение. В настоящее время в процессе бурения наклонно-направленных скважин на нефть и газ наиболее широко применяется способ инклинометрии, заключающийся в проведении относительно громоздкой и сложной системы последовательных операций преобразования компонент магнитного поля Земли в пропорциональные электрические сигналы с помощью магнитометров, усиления и масштабирования сигналов датчиков, интегрирующего аналого-цифрового преобразования электрических сигналов, определения трех компонент магнитного поля по измеренным выходным сигналам геонавигационных датчиков, дополнительного введения различного рода поправок для определения инклинометрических параметров забоя скважины. Методология проведения исследований. Основная задача проведенных исследований — повышение точности инклинометрии в процессе бурения наклонно-направленных скважин на нефть и газ, при котором производится точная компенсация помех, наводимых крупными

повышение точности инклинометрии в процессе бурения наклонно-направленных скважин на нефть и газ, при котором производится точная компенсация помех, наводимых крупными ферромагнитными комплексами, входящими в компоновку низа бурильной колонны, на датчики составляющих магнитного поля инклинометра в режиме online. Разработанный способ повышения точности инклинометрии в процессе бурения наклонно-направленных скважин в режиме текущего времени приводит к тому, что при измерении параметров геометрического положения забоя ствола бурящейся скважины практически нет необходимости в дополнительном введении различного рода поправок.

Результаты и их анализ. Выполнены аналитические исследования структуры системы помех, создаваемых различными магнитными блоками, включенными в компоновку бурильной колонны при монтаже, разработано специализированное устройство для управления процессом инклинометрии при бурении наклонно-направленных скважин. Разработаны относительно простой комплекс технологических приемов, сведенных к введению данных расположения и геометрических параметров магнитных блоков, и рабочая система, включающая микропроцессор и компенсационные соленоиды, что позволяет получить фактические данные пространственного расположения низа бурильной колонны в режиме реального времени.

**Ключевые слова:** точная инклинометрия; бурение; компоновка низа бурильной колонны; утяжеленные ферромагнитные бурильные трубы; компенсационные соленоиды; электромагнитное поле.

**Введение.** Инклинометрия — это определение точного пространственного положения ствола бурящейся скважины посредством непрерывного измерения отклонений направления скважины от магнитного севера (азимут) и угла ее наклона с помощью инклинометров.

Работа основной группы скважинных инклинометров, применяемых в процессе бурения наклонно-направленных скважин, основана на принципе измерения параметров магнитной индукции измерительных соленоидов при воздействии вектора магнитного поля Земли. На качество измерения оказывают влияние присутствие вблизи измерительного датчика массивных магнитных комплексов с высокими значениями магнитной проницаемости, вибрация бурильного инструмента и другие причины.

В настоящее время в процессе бурения наклонно-направленных скважин на нефть и газ [1] наиболее широко применяется способ инклинометрии, заключающийся в проведении относительно громоздкой и сложной системы последовательных операций преобразования компонент гравитационного и магнитного поля Земли в пропорциональные электрические сигналы с помощью гравитационных датчиков, а именно: преобразования сигналов с помощью трехосных акселерометров и магнитометров; усиления и масштабирования сигналов датчиков; интегрирующего аналого-цифрового преобразования электрических сигналов; определения трех компонент гравитационного и магнитного полей по измеренным выходным сигналам геонавигационных датчиков; определения инклинометрических параметров забоя скважины по измеренным компонентам геофизических полей; измерения параметров вибрационной помехи; определения необходимого объема исходной выборки выходных сигналов акселерометров; произведения ограничения исходной выборки с использованием корреляционного анализа; определения истинных значений выходных сигналов акселерометров в результате итерационной процедуры обработки сформированной выборки указанных выходных сигналов.

В настоящее время при проведении бурения наклонно-направленных стволов скважин часто используется «метод короткого УБТ» (утяжеленной бурильной трубы) — технология расчета «абсолютного азимута» — это математический метод снижения азимутальных ошибок, вызванных магнитным влиянием составляющих компонент забойной компоновки низа бурильной колонны (КНБК), т. е. во время снятия инклинометрического замера в расчет принимается абсолютный азимут, который также является практически расчетным.

Основа данной технологии заключается «в невозможности использования достаточного количества немагнитных УБТ, при наличии которых возникают помехи по оси  $B_z$ , расположенной вдоль оси инструмента. Для решения этой проблемы в формулу расчета азимута операторы вносят рассчитанные перед началом бурения данные Dip (угол, на который отклоняется стрелка под действием магнитного поля Земли в вертикальной плоскости) и данные  $B_e$  (значение напряженности магнитного поля Земли в точке устья скважины) и исключают составляющую  $B_a$ » [2–16].

Применение данного способа по физической сути представляет собой полуавтоматическое введение поправки в измеренную компоненту  $B_z$ , вычисляемую по геометрическим параметрам КНБК и, в частности, зависящую от расположения в составе КНБК ферромагнитных компонент.

Таким образом, описанные технологические способы направлены на устранение только помех, создаваемых самоиндукцией в комплексе инклинометрических датчиков при вибрации в процессе бурения.

Авторы предлагают решение повышения точности инклинометрии в процессе бурения наклонно-направленных скважин на нефть и газ, при котором производится точная компенсация помех, наводимых крупными ферромагнитными комплексами в режиме online, что приводит к тому, что при измерении параметров геометрического положения забоя ствола бурящейся скважины практически нет необходимости в дополнительном введении различного рода поправок.

**Анализ результатов расчетов магнитного поля.** Основная типовая компоновка НБК представлена на рис. 1, где ВЗД — винтовой забойный двигатель, НУБТ — немагнитная утяжеленная бурильная труба.

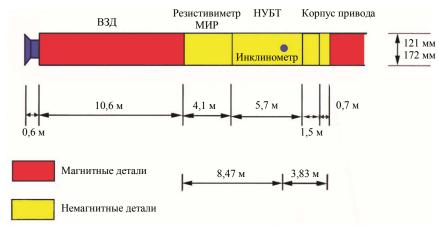
Отметим, что в качестве примера приведены типовые геометрические размеры составных блоков КНБК, которые в каждом конкретном случае могут варьировать в несущественных для поставленной задачи пределах.

Таким образом, задача сводится к модели, представленной на рис. 2.

Аномальный магнитный потенциал намагничиваемого малого объема [17]

$$U^{a} = \frac{J}{4\pi} \operatorname{grad}_{M} \frac{1}{R} dV, \tag{1}$$

где  $R = |\mathbf{r}_A - \mathbf{r}_M|$ ,  $\mathbf{r}_A(x,y,z)$ ,  $\mathbf{r}_M(\xi,\eta,\varsigma)$ ,  $\mathbf{R} = \mathbf{i}(x-\xi) + \mathbf{j}(y-\eta) + \mathbf{k}(z-\varsigma)$ ,  $dV = d\xi \ d\eta \ d\varsigma$ , связан с напряженностью магнитного поля соотношением  $\mathbf{H}^a = -\mathbf{grad}_A U^a$ .



Pucyнок 1. Основная типовая компоновка низа бурильной колонны Figure 1. Typical bottomhole assembly

Для суммарной напряженности магнитного поля  $H = H^0 + H^a$  имеем [18]:

$$\boldsymbol{H} = \boldsymbol{H}^0 - \frac{1}{4\pi} \operatorname{grad}_A \int_V \operatorname{grad}_M \frac{1}{R} dV.$$

Намагниченность тела J связана с напряженностью магнитного поля как  $J=\mathfrak{E}H+I_{OC}$ , где  $\mathfrak{E}-$  магнитная восприимчивость;  $I_{OC}-$  остаточная намагниченность [19].

Для магнитного поля без учета остаточной намагниченности тела [20]

$$\boldsymbol{H} = \boldsymbol{H}^0 - \frac{1}{4\pi} \operatorname{grad}_A \int_{V} \boldsymbol{\varepsilon} \boldsymbol{H} \operatorname{grad}_M \frac{1}{R} dV.$$
 (2)

Для внешних точек  $r_A \notin V$  это выражение является интегральной формулой для расчета составляющих напряженности поля, а для внутренних точек объема  $r_A \in V$  — системой интегральных уравнений Фредгольма II рода.

Первым, относительно грубым приближением решения задачи является приближение внутренней намагниченности стержня к величине H = const, равной земному магнитному полю  $H^0$ , без учета неоднородного намагничивания тела [18]. В этом случае величину  $\mathbf{æ} \boldsymbol{H}^{0}$  можно вынести из-под знака интеграла и интегралы получить аналитически.

В земном магнитном поле с одной составляющей  $H_x^0$  для тонкого цилиндрического стержня, вытянутого вдоль оси X, длиной L, с малой площадью поперечного сечения  $S = d\eta \cdot d\varsigma$  аномальные составляющие равны:

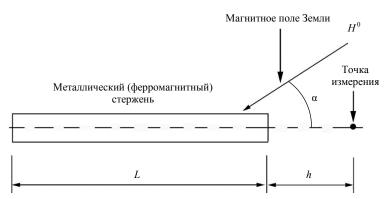
$$H_{x}^{a} = -\frac{\alpha H_{x}^{0} S}{4\pi} \int_{L} \frac{\partial^{2}}{\partial x \partial \xi} \frac{1}{R} d\xi, \qquad H_{z} = -\frac{\alpha H_{x}^{0} S}{4\pi} \int_{L} \frac{\partial^{2}}{\partial z \partial \xi} \frac{1}{R} d\xi.$$

В точках z = 0 на продолжении оси стержня получим:

$$H_{x}^{a} = -\frac{\alpha H_{x}^{0} S}{4\pi} \frac{\partial}{\partial x} \frac{1}{R} \Big|_{0}^{L} = \frac{\alpha H_{x}^{0} S}{4\pi} \left( \frac{x - \xi}{R^{3}} \Big|_{0}^{L} \right) = \frac{\alpha H_{x}^{0} S}{4\pi} \left( \frac{1}{(x - L)^{2}} - \frac{1}{x^{2}} \right),$$

$$H_{z}^{a} = \frac{\alpha H_{x}^{0} S}{4\pi} z \left( \frac{1}{R^{3}} \right) \Big|_{0}^{L} = 0.$$

Эти выражения можно получить как разность значений поля для двух полубесконечных намагничивающихся стержней, отстоящих на расстоянии L вдоль оси X[21].



Pисунок 2. Модель стержня, намагничивающегося магнитным полем Земли Figure 2. A model of a rod magnetized by the geomagnetic field

Для индукции  $\mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{H} \cdot 10^9$  нТл расчетная формула для точки, отстоящей от намагничивающегося стержня, при x = h + L имеет вид:

$$B_x^a = 100 \text{æ} H_x^0 S \left( \frac{1}{h^2} - \frac{1}{(h+L)^2} \right).$$
 (3)

Для оценки, приближенной к реальной ситуации, примем параметры:  $\mathfrak{x}=50$ ; длина стержня L=10,6 м; расстояние до точки измерений h=8,5 м; угол намагничивания  $\mathfrak{a}=0^\circ-90^\circ$ ;  $H_x^0=H^0\cos\mathfrak{a}$ ; модуль земного поля  $H^0=40$  А/м;  $S=\pi D/4$ , где D- диаметр стержня, D=0,17 м; получим максимальную величину аномального поля  $B_{x\,\mathrm{max}}=50$  нТл (рис. 2).

Для оценки, приближенной к реальной ситуации, возьмем параметры: L=10,6 м; h=8,5 м; угол намагничивания  $\alpha=0^{\circ}-90^{\circ}$ ;  $H_{x}^{0}=H^{0}\cos\alpha$ ; модуль земного поля  $H^{0}=40$  А/м;  $S=\pi D/4$ , D=0,17 м;  $B_{x}^{0}=50$  нТл (рис. 2).

Для точного расчета поля используются численные методы решения системы интегральных уравнений с помощью программного обеспечения 3D-MAGNIT, описанного в [18].

Для тех же исходных данных при  $_{\mathfrak{E}}=50$ ; L=10 м; h=10 м; S=0.01 м²;  $H^0=40$  А/м результаты расчетов по системе интегральных уравнений представлены на рис. 3.

Таким образом, фактически при любом угле между осью стержня (ферромагнитными блоками КНБК) и силовой линией магнитного поля Земли появляется помеха, требующая учета при фиксировании параметров инклинометрии положения забоя бурящейся скважины.

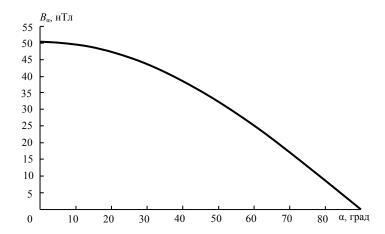


Рисунок 3. Зависимость наведенного магнитного поля  $B_{\alpha}$  от угла между осью скважины и направлением магнитного поля Земли Figure 3. Dependence of the induced magnetic field  $B_{\alpha}$  on the angle between the borehole axis and the geomagnetic field direction

Отметим, что составляющие магнитного поля помехи имеют практически три ортогональные компоненты, и учитывать помехи только в  $B_z$ , как это делается способами, описанными ранее, значит допускать априорно практически не учитываемую погрешность других составляющих, измеряемых в процессе инклинометрии при бурении.

Крайне важное значение имеет фактическое расстояние между ферромагнитными составляющими КНБК и точкой измерения данных инклинометрии, а также реальная длина каждого магнитного блока. К примеру, перемещение такого блока с расстояния 10,6 м до 3,7 м (в три раза) привело к резкому — в пять раз — повышению создаваемого магнитным блоком мешающего магнитного поля.

Данный технологический прием реализуется устройством, содержащим микропроцессор (МП), цифровой потенциометр (ЦП) и рабочий соленоид, размещаемый на ферромагнитном блоке (рис. 4, где A, B, C — точки, из которых производится контроль и управление работой устройства;  $\mathbf{U}_{\mathbf{n}}$  — источник питания; W — точка положения цифрового потенциометра; SPI или IPS — протокол передачи данных).

Интервал времени, в период которого производится измерение параметров (опрос датчиков) положения КНБК относительно магнитного поля Земли (инклинометрия), необходимо разделить на два диапазона. Фактически данный интервал многократно превышает необходимый для проведения первичной регистрации. В протоколе предусмотрен интервал времени (от 5 до 10 с в зависимости от того, какой канал связи используется) для опроса датчиков инклинометрии и отдельно

(дополнительно) интервал времени для передачи этих данных на центральный пульт бурения.

Во время первого интервала времени опроса производится запрос данных датчиков инклинометра. Система электромагнитного канала связи бурения (между КНБК и пультом управления бурением на поверхности) посылает управляющую команду на начало опроса датчиков — производится регистрация параметров пространственного положения КНБК, включая помехи, создаваемые ферромагнитными блоками компоновки. Эти данные поступают на устройство (рис. 4). Ранее они всегда через канал связи (электромагнитный или гидравлический) сразу поступали на центральный пульт бурения (для организации корректировки траектории бурения).

Сейчас данные после опроса датчиков поступают на устройство (рис. 4), включается компенсирующий соленоид (параметры тока через него дает МП, питание от -5 V до +5 V), который компенсирует помеху от ферромагнитного блока. После этого производится регистрация уже очищенных данных положения КНБК и передача именно этих данных на пульт управления бурением).

Во время второго диапазона интервала, отведенного на опрос инклинометра, производится следующее:

- 1. Данные инклинометрии, включающие помехи, поступают на МП, который производит формирование направления и амплитуды токов, направляемых на компенсационный соленоид, расположенный на ферромагнитном блоке КНБК. Направление данных для поправок на МП и их передача производится на комплекс  $R_1L$  по протоколам SPI или IPS.
- 2. Компенсационный соленоид, питаемый током, полученным от системы  $R_1L$ , от устройства, питаемого от -5 V до +5 V через цифровой потенциометр и систему  $R_1L$ , формирует магнитное поле, направленное на компенсацию помехи, вносимую ферромагнитными трубами, входящими в собранную на поверхности КНБК.
- 3. Производится повторная регистрация данных инклинометрии, уже с учетом поправок за помехи, которые и поступают на блок регистрации пульта управления на поверхность для управления траекторией бурения в режиме online.

Основное назначение рабочего соленоида — создавать во второй период измерения датчика скважинного инклинометра, входящего в КНБК, встречное (компенсирующее) магнитное поле и тем самым производить измерения пространственного положения оси скважины при практическом отсутствии помех.

Микропроцессор получает данные от датчика скважинного инклинометра, входящего в компоновку КНБК, измеренные в первый полупериод регистрации, содержащие информацию по углу наклона оси скважины по отношению к вектору магнитного поля Земли и азимуту оси скважины относительно горизонтальной составляющей вектора магнитного поля Земли.

По известным соотношениям [17, 21] действующее на рабочие соленоиды значение величины амплитуды магнитного поля:

$$B_{r}^{0} = B^{0} \cos \beta \cos \alpha;$$
  $B_{r}^{0} = B^{0} \cos \beta \sin \alpha,$ 

где  $\alpha$  — угол между осью скважины и вектором магнитного поля Земли;  $\beta$  — магнитный азимут оси скважины;  $B^0$  — модуль индукции магнитного поля Земли;  $B^0_x$  и  $B^0_y$  — ортогональные составляющие вектора магнитной индукции, действующие на ферромагнитные блоки КНБК.

По известному закону [21]

$$B = \mu \mu_0 n J / l,$$

где  $\mu$  — магнитная проницаемость среды соленоида;  $\mu_0$  — магнитная постоянная,  $4\pi \cdot 10^{-7} \, \Gamma$ н/м; l — длина соленоида, м; n — число витков; J — сила тока, A.

Знак рабочего тока J (к примеру, «+» или «-») в компенсационном соленоиде фактически позволяет формировать направление наведенного магнитного поля, равное создаваемому составляющей наведенного магнитного поля на ферромагнитный блок под воздействием составляющей магнитного поля Земли, но с другим знаком и практически компенсирующего его.

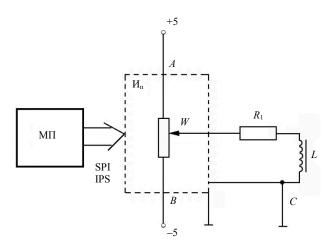


Рисунок 4. Устройство для реализации технологии Figure 4. A device for the technology implementation

МП вычисляет напряжение, которое необходимо подать между точками W и C для создания условий протекания компенсационного тока через сопротивление  $R_1L$ .

Для установки цифрового потенциометра в нужное положение для создания заданного напряжения необходимо с процессора МП отправить последовательность импульсов по цифровому интерфейсу (SPI или IPS). В период отсутствия такой последовательности потенциометр установлен в среднее положение (спящий режим, рабочее напряжение отсутствует). В период создания (появления) рабочего напряжения 5 V необходимо отправить последовательность импульсов для установки потенциометра в крайнее верхнее положение (+5 V), например для установки в верхнее положение потенциометра с 256 ступенями необходимо отправить значение 255.

**Выводы.** Технический результат предположенного решения приводит к точной компенсации помех, наводимых крупными ферромагнитными системами в режиме online, при котором при регистрации параметров геометрического положения забоя ствола бурящейся скважины практически нет необходимости в дополнительном введении различного рода поправок, что, соответственно, приводит к повышению точности инклинометрии в процессе бурения наклонно-направленных скважин на нефть и газ. Оператору необходимо просто ввести данные расположения и геометрические параметры ферромагнитных блоков, которые вошли в комплекс КНБК при монтаже, и рабочая система, включающая МП и компенсационные соленоиды, позволит получить фактические данные пространственного расположения низа бурильной колонны.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1. Способ повышения точности инклинометрии в процессе бурения нефтегазовых скважин: заявка на пат. 2005121778 Рос. Федерация. заявл. 20.01.2007; Бюл. № 07.
- 2. Волков Б. П., Галлямов К. К., Кульчицкий В. В. Строительство и эксплуатация горизонтальных скважин на Самотлорском месторождении // Нефтяное хозяйство. 1997. № 6. С. 41–42.
- 3. Молчанов А. А. Измерение геофизических и технологических параметров в процессе бурения скважин. М.: Недра, 1983. С. 49–58.
- 4. 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.
- 5. Жуков А. И., Чернов Б. С., Базлов М. Н. Эксплуатация нефтяных месторождений. М.: Гостоптехиздат, 1961. С. 103–119.
- 6. Заикин И. П., Кемпф К. В., Федоров А. И., Сурмин В. А., Львов А. В., Немцов А. А. Опыт бурения многоствольных скважин в Республике Коми // Научно-технический вестник ОАО «НК «Роснефть». 2011. С. 14–15.
- 7. Фрайя Хосе, Омер Эрве, Пулик Том, Джардон Майкл, Мируш Кайя, Паэс Рамиро, Сотомайор Габриель, Умуджоро Кеннет. Новые подходы к строительству многоствольных горизонтальных скважин // Нефтегазовое обозрение. Весна, 2003. С. 44–67.
- 8. Кульчицкий В. В., Григашкин Г. А., Ларионов А. С., Щебетов А. В. Геонавигация скважин. М.: МАКС Пресс, 2008. С. 204–312.
- 9. Модули инклинометрических систем APS. URL: https://all-pribors.ru/opisanie/72596-18-apstechnology (дата обращения: 16.05.2021).
- 10. Каротаж в процессе бурения. URL: https://rogtecmagazine.com/wp-content/uploads/2014/09/02\_LWD-logging-while-drilling-Baker-Hughes-Weatherford-Halliburton-Schlumberger-ge-oil-gas-downhole-tools.pdf (дата обращения: 17.05.2021).
- 11. Горичка М. В., Кузнецов А. Б., Абзалов З. З., Бевзенко В. А. Замеры высокого разрешения // Бурение и нефть. 2018. № 9. С. 12–17.
- 12. Григулецкий В. Г., Лукьянов В. Т. Проектирование компоновок нижней части бурильной колонны. М.: Недра, 1990. 302 с.
- 13. Калинин А. Г., Никитин Б. А., Солодкий К. М., Султанов Б. 3. Бурение наклонных и горизонтальных скважин. М.: Недра, 1997. 618 с.
- 14. Костин Ю. С. Современные методы направленного бурения скважин. М.: Недра, 1981. 152 с. 15. Повалихин А. С., Калинин А. Г., Бастриков С. Н., Солодкий К. М. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин. 2012. 645 с.
  - 16. Сулакшин С. С. Направленное бурение. М.: Недра, 1987. 272 с.
  - 17. Яновский Б. М. Земной магнетизм. Л.: ЛГУ, 1964. 446 с.
- 18. Винничук Н. Н., Костров Н. П., Ратушняк А. Н. Применение объемных интегральных уравнений в задачах магнитометрии. Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 50 с.
  - 19. Магниторазведка / под ред. В. Е. Никитского, Ю. С. Глебовского. М.: Недра, 1990. 470 с.
- 20. Кормильцев В. В., Ратушняк А. Н. Моделирование геофизических полей при помощи объемных векторных интегральных уравнений. Екатеринбург: РФФИ-УрО РАН, 2000. 98 с.
  - 21. Логачев А. А. Магниторазведка. Л.: Недра, 1968. 296 с.

Поступила в редакцию 24 мая 2021 года

#### Сведения об авторах:

**Теплухин Владимир Клавдиевич** – доктор технических наук, руководитель отдела новых технологий Компании «Петротул-НБ». E-mail: teplukhin-v@yandex.ru

Зенков Валерий Викторович — инженер-электронщик отдела новых технологий Компании «Петротул-НБ». E-mail: valerii\_zenkov@mail.ru

**Ратушняк Александр Николаевич** — кандидат технических наук, заведующий лабораторией Института геофизики УрО РАН. E-mail: geo\_info@mail.ru

Байдиков Сергей Владимирович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института геофизики УрО РАН. E-mail: badikek@mail.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2021-6-32-41

## Increasing the accuracy of the directional survey when drilling oil and gas wells

Vladimir K. Teplukhin<sup>1</sup>, Valerii V. Zenkov<sup>1</sup>, Aleksandr N. Ratushniak<sup>2</sup>, Sergei V. Baidikov<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PetroTool, Oktyabrsky, Republic of Bashkortostan, Russia.

<sup>2</sup> Institute of Geophysics UB RAS, Ekaterinburg, Russia.

#### Abstract

**Introduction.** The method of directional survey is currently widely used when drilling horizontal and directional wells for oil and gas. The method includes a relatively cumbersome and complex system of

sequential operations of converting the components of the Earth's magnetic field into proportional electrical signals using magnetometers, amplifying and scaling sensor signals, integrating analog-todigital conversion of electrical signals, determination of the three components of magnetic fields from the measured output signals of geosteering sensors, and additional introduction of various kinds of corrections to determine the survey parameters of the bottom.

Methods of research. The main objective of the research is to improve the accuracy of the directional survey while drilling directional wells for oil and gas. The process of drilling provides accurate online compensation for interference from large ferromagnetic complexes in the bottomhole assembly acting on the sensors of the inclinometer magnetic field components. The developed method for increasing the accuracy of the directional survey when drilling directional wells online eliminates the need for various additional corrections in the course of the drilled well bottom geometric position measurement.

Results and analysis. Analytical studies of the structure of the noise created by various magnetic blocks included in the drillsting assembly during installation have been carried out. A specialized device has been developed to control the directional survey process when drilling directional wells. A relatively simple set of processes reduced to magnetic blocks location data and geometric parameters introduction has been developed together with a working system including a microprocessor and compensation solenoids. It made it possible to obtain actual data on the spatial location of the drill string bottom in real time.

Keywords: precision directional survey; drilling; bottomhole assembly; ferromagnetic drill pipes; compensation solenoids; electromagnetic field.

#### REFERENCES

1. Inchakov A. V., Steblev Iu. I., Grigashkin G. A. A method of improving the accuracy of the directional survey when drilling oil and gas wells. Patent application RF no. 2005121778; 2007. (In Kuss.)

2. Volkov B. P., Galliamov K. K., Kulchitskii V. V. Construction and operation of horizontal wells at Samotlor field. Neftianoe khoziaistvo = Oil Industry. 1997; 6: 41–42. (In Russ.)

3. Molchanov A. A. Measuring geophysical and process parameters when drilling wells. Moscow: Nedra Publishing; 1983. (In Russ.)

- 4. Kein S. A., Trokhov V. V. Development of technical and technological recommendations on quality enhancement of project trajectory performance of directional wells. Stroitelstvo neftianykh i gażovykh skvazhin na sushe i na more = Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea. 2015; 1: 6–9. (In Russ.)
- 5. Zhukov A. I., Chernov B. S., Bazlov M. N. Oil field exploitation. Moscow: Gostoptekhizdat Publishing; 1961. (In Russ.)
- 6. Zaikin I. P., Kempf K. V., Fedorov A. I., Surmin V. A., Lvov A. V., Nemtsov A. A. Multilaterals wells drilling in the Komi Republic. Nauchno-tekhnicheskii vestnik OAO NK Rosneft = Scientific and Technical Bulletin of Rosneft. 2011: 14–15. (In Russ.)
  7. Fraija J, Ohmer H, Pulick T, Jardon M, Kaja M, Paez R, Sotomayor GPG and Umudjoro K. New
- aspects of multilateral well construction. Neftegazovoe obozrenie = Oilfield Review. Spring; 2003. p. 44-67.
- 8. Kulchitskii V. V., Grigashkin G. A., Larionov A. S., Shchebetov A. V. Geosteering. Moscow: MAKS Press Publishing; 2008. p. 204–312. (In Russ.)
- 9. APS modules. Available from: https://all-pribors.ru/opisanie/72596-18-aps-technology [Accessed 16 May 2021]. (In Russ.)
- 10. LWD measurement. Available from: https://rogtecmagazine.com/wp-content/uploads/2014/09/02 LWD-logging-while-drilling-Baker-Hughes-Weatherford-Halliburton-Schlumberger-ge-oil-gasdownhole-tools.pdf [Accessed 17 May 2021]. (In Russ.)
  - 11. Gorichka M. V., Kuznetsov A. B., Abzalov Z. Z., Bevzenko V. A. High definition surveys. Burenie
- i neft = Drilling and Oil. 2018; 9: 12–17. (In Russ.)
  12. Griguletskii V. G., Lukianov V. T. Bottomhole assembly design. Moscow: Nedra Publishing; 1990. (In Russ.)
- 13. Kalinin A. G., Nikitin B. A., Solodkii K. M., Sultanov B. Z. *Drilling downholes and horizontal wells*. Moscow: Nedra Publishing; 1997. (In Russ.)
- 14. Kostin Iu. S. Advanced methods of directional drilling of wells. Moscow: Nedra Publishing; 1981.
- 15. Povalikhin A. S., Kalinin A. G., Bastrikov S. N., Solodkii K. M. Drilling directional, horizontal, and multilateral wells. 2012. (In Russ.)
  - 16. Sulakshin S. S. Directional drilling. Moscow: Nedra Publishing; 1987. (In Russ.)
  - 17. Ianovskii B. M. Earth's magnetism. Leningrad: LSU Publishing; 1964. (In Russ.)
- 18. Vinnichuk N. N., Kostrov N. P., Ratushniak A. N. Applying volume integral equations to solve the problems of magnetic measurements. Ekaterinburg: UB RAS Publishing; 1999. (In Russ.)
- 19. Nikitskii V. E., Glebovskii Iu. S (eds.) Aeromagnetic survey. Moscow: Nedra Publishing; 1990. (In Russ.)
- 20. Kormiltsev V. V., Ratushniak A. N. Modelling geophysical fields by volume integral equations. Ekaterinburg: RFFR-UB RAS Publishing; 2000. (In Russ.)
  - 21. Logachev A. A. Aeromagnetic survey. Leningrad: Nedra Publishing; 1968. (In Russ.)

## Information about authors:

Vladimir K. Teplukhin - DSc (Engineering), Head of Innovative Technology Department, PetroTool. E-mail: teplukhin-v@yandex.ru

V. Zenkov electronic engineer, Innovative Technology Department, PetroTool. E-mail: valerii\_zenkov@mail.ru

Aleksandr N. Ratushniak - PhD (Engineering), Head of the Laboratory, Institute of Geophysics UB

RAS. E-mail: geo info@mail.ru

Sergei V. Baidikov – PhD (Engineering), senior researcher, Institute of Geophysics UB RAS. E-mail: badikek@mail.ru

Для цитирования: Теплухин В. К., Зенков В. В., Ратушняк А. Н., Байдиков С. В. К вопросу о повышении точности инклинометрии в процессе бурения нефтегазовых скважин // Известия вузов. Горный журнал. 2021. № 6. С. 32–41. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-6-32-41 For citation: Teplukhin V. K., Zenkov V. V., Ratushniak A. N., Baidikov S. V. Increasing the accuracy of

the directional survey when drilling oil and gas wells. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii*. *Gornyi zhurnal* = *News of the Higher Institutions*. *Mining Journal*. 2021; 6: 32–41 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2021-6-32-41