

УДК 622:681.586:53.088

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПЕРВИЧНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ИНКЛИНОМЕТРА ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТОВ

ЖИВЦОВА Л. И.

Кафедра автоматики и электротехники, Государственное высшее учебное заведение «Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, Днепро, 49600, Украина, тел. (056) 756-33-19, e-mail: 777_211@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-6176-1781

Аннотация. Постановка проблемы. В процессе бурения необходим постоянный контроль за положением оси скважины в пространстве. Только в этом случае можно построить геологический разрез и определить место расположения куполов и ловушек, в которых сосредоточена нефть. Для анализа возможной нефтеотдачи скважины необходимо знать углы падения пласта и направление углов наклона относительно неподвижной системы координат. Такие измерения производят с помощью систем ориентированного отбора керна с встроенным автономным инклинометром. Однако в процессе бурения возможно отключение автономного инклинометра в связи с выходом из строя аккумулятора. Информация на поверхность не передается, но хранится в памяти прибора и считывается из нее после подъема колонны буровых труб. При этом происходит перестановка инклинометра в буровой трубе, основного ножа для разметки и аккумулятора. В связи с этим возникают угловые отклонения инклинометра относительно корпуса буровой трубы, что может привести к значительной ошибке в определении ориентации керна. **Цель исследования** - повысить точность первичных преобразователей инклинометра для систем контроля ориентации объектов за счет разработки способа учета перекосов первичных преобразователей инклинометра в процессе его перестановки в буровой трубе. При замене инклинометра, включающего в свою конструкцию акселерометрические и магнитометрические первичные преобразователи, в буровой трубе возникают их угловые отклонения относительно корпуса трубы, приводящие к погрешностям в измерениях. **Вывод.** Впервые предложен способ повышения точности первичных преобразователей инклинометра. Получена корректирующая матрица, позволяющая учесть угловые отклонения первичных преобразователей инклинометра при его замене в буровой трубе. Предложенный способ позволяет повысить точность первичных преобразователей инклинометра и практически на порядок снизить ошибки измерения углов пространственной ориентации скважины и ориентации керна.

Ключевые слова: погрешность; инклинометр; точность измерения; акселерометрический преобразователь; магнитометрический преобразователь; пространственная ориентация

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ІНКЛІНОМЕТРА ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ОРІЄНТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ

ЖИВЦОВА Л. І.

Кафедра автоматики та електротехніки, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, Дніпро, 49600, Україна, тел. (056) 756-33-19, e-mail: 777_211@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-6176-1781

Анотация. Постановка проблемы. У процесі буріння необхідний постійний контроль за положенням осі свердловини в просторі. Тільки в цьому випадку можна побудувати геологічний розріз і визначити місце розташування куполів і пасток, у яких зосереджена нафта. Для аналізу можливої нафтовіддачі свердловини необхідно знати кути падіння пласта і напрям кутів нахилу щодо нерухомої системи координат. Такі вимірювання проводять за допомогою систем орієнтованого відбору керна з вбудованим автономним інклінометром. Проте в процесі буріння можливе відключення автономного інклінометра через з вихід із ладу акумулятора. Інформація на поверхню не передається, але зберігається в пам'яті приладу і зчитується з нього після підйому колони бурових труб. При цьому відбувається перестановка інклінометра в буровій трубі, основного ножа для розмітки і акумулятора. У зв'язку з цим виникають кутові відхилення інклінометра щодо корпусу бурової труби, що може викликати значну похибку у визначенні орієнтації керна. **Мета дослідження** - підвищити точність первинних перетворювачів інклінометра для систем контролю орієнтації об'єктів шляхом розроблення способу врахування перекосів первинних перетворювачів інклінометра під час його перестановки в буровій трубі. Під час заміни інклінометра, що включає у свою конструкцію акселерометричні і магнітометричні первинні перетворювачі, в буровій трубі виникають їх кутові відхилення щодо корпусу труби, що викликають до похибки у вимірюваннях. **Висновок.** Уперше запропоновано спосіб підвищення точності первинних перетворювачів інклінометра. Отримано коректувальну матрицю, що дозволяє врахувати кутові

відхилення первинних перетворювачів інклінометра під час його заміни в буровій трубі. Запропонований спосіб дозволяє підвищити точність первинних перетворювачів інклінометра і практично на порядок зменшити помилки вимірювання кутів просторової орієнтації свердловини та орієнтації керна.

Ключові слова: похибка; інклінометр; точність вимірювання; акселерометричний перетворювач; магнітометричний перетворювач; просторова орієнтація

INCREASE OF EXACTNESS PRIMARY TRANSFORMERS OF INCLINOMETER FOR SYSTEMS CONTROL OF ORIENTATION OF OBJECTS

ZHIVTSOVA L. I.

Department of Automation and Electrical Engineering, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-a, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, ph. (056) 756-33-19, e-mail: 777_211@ukr.net, ORCID ID: 0000-0002-6176-1781

Summary. Raising of problem. During the drilling process requires the constant monitoring of the position of the borehole axis in space. Only in this case it is possible to construct a geological section and determine the location for the domes and traps where the oil is concentrated. For the analysis of possible oil of mining hole it is necessary to know the angles of incidence of layer and direction of angles of slope of the relatively immobile system of coordinates. Such measuring produce by means of the systems of the oriented selection of stippler with a built-in autonomous inclinometer. However, the drilling process may disable autonomous inclinometer in connection with the output of the battery system. Information on the surface is not transmitted but stored in the memory device and read out there from after lifting the drill string. Thus there is a permutation of the inclinometer in the drill pipe, the main blade for marking and battery. In this connection there inclinometer angular deviation relative to the housing of the drill pipe, which may lead to considerable errors in the determination of the orientation of the core. **Purpose.** Improve the accuracy of the primary converters inclinometer for object orientation control systems by providing a method of accounting distortions of transducers inclinometer in the process of changes in the drill pipe. When replacing the inclinometer comprising in their structure the accelerometer and magnetometer primary converters, a drill pipe having their angular deviation relative to the tube body, leading to errors in the measurements. **Conclusion.** The method of increase of exactness of primary transformers of inclinometer is first offered. A correcting matrix allowing to take into account the angular rejections of primary transformers of inclinometer at hisreplacement in a boring pipe is got. The proposed method makes it possible to improve the accuracy of transducers inclinometer and almost an order of magnitude lower angle measurement error of the spatial orientation of the borehole and core orientation.

Keywords: error; inclinometer; accuracy of measurement; accelerometer converter; magnetometer converter; spatial orientation

Постановка проблеми. Одной из актуальных в современной нефтегазодобывающей промышленности является проблема контроля пространственного положения наклонно направленных, разветвленно-горизонтальных скважин, боковых стволов из скважин бездействующего фонда со сложным пространственным профилем [1; 2; 8; 9]. Это обусловлено сложными эксплуатационными условиями: труднодоступностью и большой глубиной (от 2 до 5 км) залегания продуктивных залежей, малой толщиной продуктивных пластов (до 1,5 м).

В процессе бурения необходим постоянный контроль за положением оси скважины в пространстве. Только в этом случае можно построить геологический разрез и определить месторасположение

куполов и ловушек, в которых сосредоточена нефть. Для анализа возможной нефтеотдачи скважины необходимо знать углы падения пласта и направление углов наклона относительно неподвижной системы координат. Ориентированный отбор керна позволяет получать информацию о трещиноватости и расположении подстилающих пород, их проницаемости и пористости [6]. Такие измерения производят с помощью систем ориентированного отбора керна с встроенным автономным инклінометром [10].

Инклінометр включает в свою конструкцию первичные измерительные преобразователи, предназначенные для измерения азимута, зенитного угла (наклона скважины), визирного угла (угол положения скважинного объекта в апсидальной

плоскості) [3; 4]. Інклінометр дозволяє визначити не тільки просторове положення скважини, але і положення різця, який наносить метку на теле керна, для визначення просторового положення пласта і тріщин.

Однак в процесі буріння можливо відключення автономного інклінометра в зв'язі з виходом із строя акумулятора. Інформація на поверхню не передається, але зберігається в пам'яті приладу і читается із неї після підйому колонни буринних труб. При цьому відбувається перестановка інклінометра в буринній трубці, основного ножа для розмітки і акумулятора. В зв'язі з цим виникають кутові відхилення інклінометра відносно корпусу буринної труби, що може призвести до значущої помилки в визначенні орієнтації керна.

Пропонується спосіб підвищення точності первинних перетворювачів інклінометра за рахунок урахування перекосів первинних перетворювачів інклінометра при його перестановці в буринній трубці.

Інклінометр 1 включає в свою конструкцію акселерометричні первинні перетворювачі 2 і магніточутливі первинні перетворювачі 3 (рис.1).

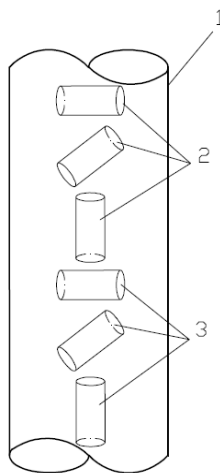


Рис. 1. Кінематична схема інклінометра: 1 – інклінометричне пристрій; 2 – акселерометричні первинні перетворювачі; 3 – магніточутливі первинні перетворювачі

Аналіз досліджень і публікацій.

Аналіз відомих численних вітчизняних і зарубіжних публікацій,

відображають теоретичні і практичні питання створення і вдосконалення інклінометричних пристроїв, показує, що найбільш перспективним і визнаним серед розробників напрямком є побудова інклінометра на основі трьохкомпонентних перетворювачів з акселерометричними і магнітометричними первинними перетворювачами, чутливими до гравітаційного і геомагнітного полів [3; 5; 7]. В даному напрямку досягнуті певні позитивні результати в плані практичної реалізації технічних рішень, що дозволяють створювати малогабаритну апаратуру (діаметром захисного кожуха інклінометра 42 мм і менше).

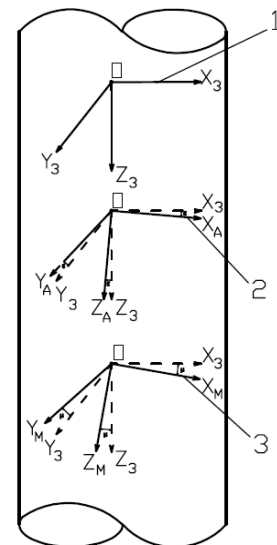


Рис.2. Системи координат: 1 – інклінометричного пристрою, 2 – акселерометричного первинного перетворювача, 3 – магнітометричного первинного перетворювача

Однак питання, пов'язані з похибками первинних перетворювачів при перестановці інклінометра в буринній трубці, викликані невідповідністю осей вимірювання інклінометра і осей первинних перетворювачів, в літературі не розглядаються.

Таким чином, розробка способу урахування перекосів первинних перетворювачів інклінометра при його перестановці в буринній трубці, який би спростило визначення орієнтації скважини і

ориентации керна, а также повысил их точность, является актуальной технической задачей.

Постановка задачи. Разработать способ учета перекосов первичных преобразователей инклинометра при перестановке его в буровой трубе. Снизить ошибки при измерении пространственной ориентации скважины и ориентации керна за счет определения корректирующей матрицы угловых отклонений преобразователей.

То:

$$\left. \begin{aligned} & \left(\cos \varepsilon_{11}, \quad \cos \left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon_{32} \right), \quad \cos \left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon_{23} \right) \right), \\ & \left(\cos \left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon_{31} \right), \quad \cos \varepsilon_{22}, \quad \cos \left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon_{13} \right) \right), \\ & \left(\cos \left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon_{21} \right), \quad \cos \left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon_{12} \right), \quad \cos \varepsilon_{33} \right) \end{aligned} \right\}$$

Основной материал. Пусть $R_3(O, X_3, Y_3, Z_3)$ – репер, связанный с корпусом инклинометра, $R_A(O, X_A, Y_A, Z_A)$ – репер, образованный осями чувствительности акселерометрических первичных преобразователей, а $R_M(O, X_M, Y_M, Z_M)$ – репер образованный осями чувствительности первичных магниточувствительных преобразователей рис. 2.

– направляющие косинусы осей чувствительности акселерометрических первичных преобразователей относительно репера $R_3(O, X_3, Y_3, Z_3)$.

Тогда:

$$\begin{pmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varepsilon_{11} & \cos \left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon_{31} \right) & \cos \left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon_{21} \right) \\ \cos \left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon_{32} \right) & \cos \varepsilon_{22} & \cos \left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon_{12} \right) \\ \cos \left(\frac{\pi}{2} - \varepsilon_{23} \right) & \cos \left(\frac{\pi}{2} + \varepsilon_{13} \right) & \cos \varepsilon_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix}$$

Если величины углов ε_{ij} – малы, т. е. $\sin \varepsilon = \varepsilon$, а $\cos \varepsilon = 1$, то последнее равенство можно записать так:

$$\begin{pmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 1 & -\varepsilon_{31} & \varepsilon_{21} \\ \varepsilon_{32} & 1 & -\varepsilon_{12} \\ -\varepsilon_{23} & \varepsilon_{13} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Аналогично, если:

$$\left. \begin{aligned} & \left(\cos \mu_{11}, \quad \cos \left(\frac{\pi}{2} + \mu_{32} \right), \quad \cos \left(\frac{\pi}{2} - \mu_{23} \right) \right), \\ & \left(\cos \left(\frac{\pi}{2} - \mu_{31} \right), \quad \cos \mu_{22}, \quad \cos \left(\frac{\pi}{2} + \mu_{13} \right) \right), \\ & \left(\cos \left(\frac{\pi}{2} + \mu_{21} \right), \quad \cos \left(\frac{\pi}{2} - \mu_{12} \right), \quad \cos \mu_{33} \right) \end{aligned} \right\}$$

направляющие косинусы осей магниточувствительных преобразователей.

То:

$$\begin{pmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \mu_{11} & \cos \left(\frac{\pi}{2} - \mu_{31} \right) & \cos \left(\frac{\pi}{2} + \mu_{21} \right) \\ \cos \left(\frac{\pi}{2} + \mu_{32} \right) & \cos \mu_{22} & \cos \left(\frac{\pi}{2} - \mu_{12} \right) \\ \cos \left(\frac{\pi}{2} - \mu_{23} \right) & \cos \left(\frac{\pi}{2} + \mu_{13} \right) & \cos \mu_{33} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{pmatrix}$$

Если углы μ_{ij} – малы, тогда:

$$\begin{pmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{pmatrix} \approx \begin{pmatrix} 1 & -\mu_{31} & \mu_{21} \\ \mu_{32} & 1 & -\mu_{12} \\ -\mu_{23} & \mu_{13} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{pmatrix}. \quad (2)$$

Теперь так:

$$\begin{pmatrix} 1 & -\varepsilon_{31} & \varepsilon_{21} \\ \varepsilon_{32} & 1 & -\varepsilon_{12} \\ -\varepsilon_{23} & \varepsilon_{13} & 1 \end{pmatrix}^{-1} \approx \begin{pmatrix} 1 & \varepsilon_{31} & -\varepsilon_{21} \\ -\varepsilon_{32} & 1 & \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{23} & -\varepsilon_{13} & 1 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & -\mu_{31} & \mu_{21} \\ \mu_{32} & 1 & -\mu_{12} \\ -\mu_{23} & \mu_{13} & 1 \end{pmatrix}^{-1} \approx \begin{pmatrix} 1 & \mu_{31} & -\mu_{21} \\ -\mu_{32} & 1 & \mu_{12} \\ \mu_{23} & -\mu_{13} & 1 \end{pmatrix}$$

Тогда из соотношений (1), (2) находим связь между реперами $R_A(O, X_A, Y_A, Z_A)$ и $R_M(O, X_M, Y_M, Z_M)$:

$$\begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \varepsilon_{31} & -\varepsilon_{21} \\ -\varepsilon_{32} & 1 & \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{23} & -\varepsilon_{13} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & \mu_{31} & -\mu_{21} \\ -\mu_{32} & 1 & \mu_{12} \\ \mu_{23} & -\mu_{13} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{pmatrix}$$

или

$$\begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -\mu_{31} + \varepsilon_{31} & \mu_{21} - \varepsilon_{21} \\ -\varepsilon_{32} + \mu_{32} & 1 & -\mu_{12} + \varepsilon_{12} \\ \varepsilon_{23} - \mu_{23} & -\varepsilon_{13} + \mu_{13} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{pmatrix}. \quad (3)$$

$$\begin{pmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \mu_{31} & -\mu_{21} \\ -\mu_{32} & 1 & \mu_{12} \\ \mu_{23} & -\mu_{13} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & -\varepsilon_{31} & \varepsilon_{21} \\ \varepsilon_{32} & 1 & -\varepsilon_{12} \\ -\varepsilon_{23} & \varepsilon_{13} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix}$$

или

$$\begin{pmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -\varepsilon_{31} + \mu_{31} & \varepsilon_{21} - \mu_{21} \\ -\mu_{32} + \varepsilon_{32} & 1 & -\varepsilon_{12} + \mu_{12} \\ \mu_{23} - \varepsilon_{23} & -\mu_{13} + \varepsilon_{13} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Системы координат $R_A(O, X_A, Y_A, Z_A)$ и $R_M(O, X_M, Y_M, Z_M)$ связаны формулами (3), (4), которые удобно записать так:

$$\begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -\gamma_{31} & \gamma_{21} \\ \gamma_{32} & 1 & -\gamma_{12} \\ -\gamma_{23} & \gamma_{13} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{pmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} X_M \\ Y_M \\ Z_M \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \gamma_{31} & -\gamma_{21} \\ -\gamma_{32} & 1 & \gamma_{12} \\ \gamma_{23} & -\gamma_{13} & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Формулы (5), (6) запишем в матричной форме:

$$\begin{aligned} \bar{X}_A &= A_\gamma \cdot \bar{X}_M \\ \bar{X}_M &= A_\gamma \cdot \bar{X}_A \end{aligned}, \quad (7)$$

где

$$A_\gamma = \begin{pmatrix} 1 & -\gamma_{31} & \gamma_{21} \\ \gamma_{32} & 1 & -\gamma_{12} \\ -\gamma_{23} & \gamma_{13} & 1 \end{pmatrix} =$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & -\varepsilon_{31} + \mu_{31} & \varepsilon_{21} - \mu_{21} \\ -\mu_{32} + \varepsilon_{32} & 1 & -\varepsilon_{12} + \mu_{12} \\ \mu_{23} - \varepsilon_{23} & -\mu_{13} + \varepsilon_{13} & 1 \end{pmatrix}$$

– корректирующая матрица.

Сменим корпус инклинометра. Пусть $R'_3(O, X'_3, Y'_3, Z'_3)$ – система координат, связанная с новым корпусом инклинометра.

Если нами установлена связь между реперами: $R'_3(O, X'_3, Y'_3, Z'_3)$ и $R_A(O, X_A, Y_A, Z_A)$, получим:

$$\bar{X}'_3 = A_\varepsilon \cdot \bar{X}_A.$$

Используя (7), находим связь между реперами:

$$R'_3(O, X'_3, Y'_3, Z'_3) \quad \text{и} \quad R_M(O, X_M, Y_M, Z_M).$$

Тогда:

$$\bar{X}'_3 = A_\varepsilon \cdot A_\gamma \cdot \bar{X}_M.$$

Аналогично, если известна связь между реперами:

$$R'_3(O, X'_3, Y'_3, Z'_3) \quad \text{и} \quad R_M(O, X_M, Y_M, Z_M).$$

Тогда:

$$\bar{X}'_3 = A_\mu \cdot \bar{X}_M,$$

получаем формулу:

$$\bar{X}'_3 = A_\mu \cdot A_\gamma \cdot \bar{X}_A,$$

связывающую координаты вектора в репере:

$$R'_3(O, X'_3, Y'_3, Z'_3) \quad \text{и} \quad R_A(O, X_A, Y_A, Z_A).$$

Выводы. Впервые предложен способ повышения точности первичных преобразователей инклинометра за счет учета перекосов первичных преобразователей при его перестановке в буровой трубе, в результате которого отыскивается корректирующая матрица, позволяющая учесть перекося первичных преобразователей инклинометра при его замене в буровой трубе.

Предложенный способ позволяет практически на порядок снизить ошибки измерения углов пространственной ориентации скважины и ориентации керна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кобаль Г. Новый взгляд на бурение / Г. Кобаль // НефтеРынок : электронный журнал. – 03.05.2015. – № 21 (900). – Режим доступа: <http://www.nefterynok.info/stati/novyy-vzglyad-na-burenie/> – Загл. с экрана. – Проверено 29.01.2018.
2. Kovshov G. N. Mathematical model of one-axis inclinometer transducer of inclination and sighting angles / G. N. Kovshov, L. I. Zhyvtsova, I. V. Ryzhkov // Науковий вісник Національного гірничого університету. – 2015. – № 2. – С. 118–122.
3. Ковшов Г. Н. Приборы контроля пространственной ориентации скважин при бурении / Г. Н. Ковшов, Г. Ю. Коловертнов. – Уфа : Уфимский гос. нефтяной техн. ун-т, 2001. – 228 с.

4. Ковшов Г. Н. Инклинометры (Основы теории и проектирования) / Г. Н. Ковшов, Р. И. Алимбеков, А. В. Жибер. – Уфа : Гилем, 1998. –380 с.
5. Живцова Л. И. Математическая модель трехосевого микромеханического акселерометра для инклинометрической системы контроля и ориентации скважин / Л. И. Живцова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури : зб. наук. праць. – Дніпропетровськ, 2014. – № 6. – С. 32–38.
6. Пономарьова О. А. Побудова математичної моделі орієнтованого ядерного скважинника / О. А. Пономарьова, І. В. Рижков, С. М. Пономарьов // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Придн. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепр, 2016. – Вып. 94 : Серия : Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении. – С. 125–130.
7. Рыжков И. В. Анализ инклинометрических устройств контроля скважин / И. В. Рыжков, Л. И. Живцова // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр./ Придн. гос. акад. стр-ва и архитектуры – Днепропетровск, 2009. – Вып. 51 : Серия : Интенсификация рабочих процессов строительных та дорожных машин. – С. 157–169.
8. Відновлення свердловин – перспективний напрям збільшення обсягів видобутку вуглеводів у Західному нафтопромисловому районі України / Є. М. Ставичний, С. А. П'ятківський, М. М. Плитус, Л. Я. Притула, М. Б. Ковальчук // Нафтогазова галузь України. – 2014. – № 6. – С. 3–6.
9. “Укрнафта” начала бурение во Львовской области первой скважины в 2016 году // Уніан : інформаційне агентство. – Режим доступу: <http://economics.unian.net/energetics/1280932-ukrnafta-nachala-burenie-vo-lvovskoy-oblasti-pervoy-skvajinyi-v-2016-godu.html>. – Загл. с экрана. – Проверено 29.01.18.
10. Нестандартные системы для отбора керн. Система «Corienting». Компания «Halliburton». 2017. – Режим доступа: <http://www.halliburton.com/ru-ru/products-services/drill-bits-services/coring-services/unconventional-methods/custom-systems/corienting-system.page?node-id=ilq2taz4>. – Загл. с экрана. – Проверено : 30.01.2018.

REFERENCES

1. Kobal G. Novyj vzglyad na burenie [A new perspective on drilling]. NefteRynok: Elektronnyj zhurnal [Fuel market: electronic magazine]. May 03, 2015, no. 21(900). Available at: http://www.nefterynok.info/analytics.phtml?art_id=295/ (Accessed on November 03, 2016). (in Russian).
2. Kovshov G.N., Zhyvtsova L.I. and Ryzhkov I.V. Mathematical model of one-axis inclinometer transducer of inclination and sighting angles. Scientific bulletin of National Mining University. 2015, no. 2, pp. 118–122.
3. Kovshov G.N. and Kolovertnov G.Yu. Pribory kontrolya prostranstvennoj orientacii skvazhin pri burenii [Instruments for monitoring the spatial orientation of wells during drilling]. Ufa: Ufimskij gos. neftyanoj texn. un-t, 2001, 228 p. (in Russian).
4. Kovshov G.N., Alimbekov R.I. and Zhiber A.V. Inklinometry (Osnovy teorii i proektirovaniya) [Inclinometers (Basic theory and design)]. Ufa: Gilem, 1998, 380 p. (in Russian).
5. Zhyvtsova L.I. Matematicheskaya model' trexosevogo mikromexanycheskogo akselerometra dlya inklinometricheskoj systemy kontrolya i orientacii skvazhin [Mathematical model of three-axis micromechanical accelerometer for directional system of control and orientation of boreholes]. Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytva ta arxitektury [Bulletin of Prydniprovsk'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. 2014, no. 6, pp. 32 – 38. (in Russian).
6. Ponomarova O.A., Ryzhkov I.V. and Ponomarov S.M. Pobudova matematychnoi modeli orientovanoho kernovidbirnyka [Construction of mathematical model of oriented core sampler]. Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie [Construction, materials science, mechanical engineering]. Seriya: Komp'yuternye sistemy i informacionnye tekhnologii v obrazovanii, nauke i upravlenii [Series: Computer systems and information technologies in education, science and management]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arxitektury [Prydniprovsk'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepr, 2006, iss. 94, pp. 125 – 130. (in Ukrainian).
7. Ryzhkov I.V. and Zhyvtsova L.I. Analiz inklinometricheskix ustrojstv kontrolya skvazhyn [Analysis of inclinometric well control devices]. Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie [Construction, materials science, mechanical engineering]. Seriya: Intensyfikatsiia robochykh procesiv budivelnykh ta dorozhnykh mashyn [Series: Hoisting-and-transport, construction and road machinery and equipment]. Pridnepr. gos. akad. str-va i arxitektury [Prydniprovsk'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2009, iss. 51, pp. 157–169. (in Russian).
8. Stavychnyi Ye.M., Piatkivskiy S.A., Plytus M.M., Prytula L.Ya. and Kovalchuk M.B. Vidnovlennia sverдловyn – perspektyvnyi napriam zbilshennia obsiahiv vydobutku vuglevodiv u Zakhidnomu naftopromyslovomu raioni Ukrainy [Recovery of wells - a promising direction for increasing the production of carbohydrates in the Western oilfield of Ukraine]. Naftogazova haluz' Ukrainy [The oil and gas industry of Ukraine]. 2014, no 6, pp. 3 – 6. (in Ukrainian).
9. “Ukrnafta” nachala burenie vo Lvovskoj oblasti pervoi skvazhyny v 2016 godu [Ukrnafta began drilling the first well in the Lviv region in the year 2016]. Available at: <http://economics.unian.net/energetics/1280932-ukrnafta-nachala-burenie-vo-lvovskoy-oblasti-pervoy-skvajinyi-v-2016-godu.html>. (Accessed on January 29, 2018). (in Russian).

10. Nestandartnye sistemy dlya otbora kerna. Sistema «Corienting»[Unusual systems for core sampling. System «Corienting»]. Kompaniya «Halliburton» [Company «Halliburton»]. 2017. Available at: <http://www.halliburton.com/ru-ru/products-services/drill-bits-services/coring-services/unconventional-methods/custom-systems/corienting-system.page?node-id=ilq2taz4>. (Accessed on January 30, 2018). (in Russian).

Рецензент: Єршова Н. М. д-р т. н., проф.

Надійшла до редколегії: 12.06.2017 р. Прийнята до друку: 17.06.2017 р.