

УДК 681.586:53.088:622.23/24

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

Анотація. Постановка проблеми. З 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 ядра з вбудованим автономним інклінометром. Проте в процесі буріння можливе відключення автономного інклінометра через 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 й акумулятора. У зв'язку з цим виникають кутові відхилення інклінометра щодо корпусу бурової труби, що може спричинити значну похибку у визначенні орієнтації ядра. **Мета дослідження** – підвищити точність первинних перетворювачів інклінометра для систем контролю орієнтації об'єктів за допомогою 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 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 понизити помилки вимірювання кутів просторової орієнтації свердловини й орієнтації ядра.

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

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 ядра с встроенным автономным инклинометром. Однако в процессе бурения возможно отключение автономного инклинометра из-за выхода из строя аккумулятора. Информация на поверхность не передается, но хранится в памяти прибора и считывается с 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 ядра. **Цель работы** – повысить точность первичных преобразователей инклинометра для систем контроля ориентации объектов с помощью 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 ядра.

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

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 «Prydniprov'ska State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipro, 49600, Ukraine, tel. (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 проблемы. 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 инклинометром [10].

Инклинометр включает в свою конструкцию первичные измерительные преобразователи, предназначенные для измерения азимута, зенитного угла (наклона скважины), визирного угла (угол положения скважинного объекта в апсидальной плоскости) [3; 4]. Инклинометр позволяет не только определить пространственное положение скважины, но и положение резца, который наносит метку на теле керна, для определения пространственного положения пласта и трещин.

Однако в процессе бурения возможно отключение автономного инклинометра в из-за выхода из строя аккумулятора. Информация на поверхность не передается, но хранится в памяти прибора и считывается с нее после подъема колонны бурительных 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

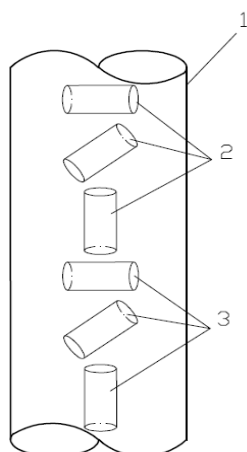


Рис. 1. Кинематическая схема инклинометра:
1 – инклинометрическое устройство; 2 – акселерометрические первичные преобразователи; 3 – магнитометрические первичные преобразователи

Анализ исследований и публикаций. Анализ известных многочисленных отечественных и зарубежных публикаций, отражающих теоретические и практические вопросы создания и совершенствования инклинометрических устройств, показывает, что наиболее перспективным и признанным среди разработчиков направлением является построение инклинометра на основе трехкомпонентных преобразователей с акселерометрическими и магнитометрическими первичными преобразователями, чувствительными к гравитационному и геомагнитному полям [3; 5; 7].

В данном направлении достигнуты определенные положительные результаты в плане практической реализации технических решений, позволяющих создавать малогабаритную аппаратуру

может привести к значительной ошибке в определении ориентации керна.

Предлагается способ повышения точности первичных преобразователей инклинометра с помощью учета перекосов первичных преобразователей инклинометра при его перестановке в буровой трубе.

Инклинометр 1 включает в свою конструкцию акселерометрические первичные преобразователи 2 и магниточувствительные первичные преобразователи 3 (рис.1).

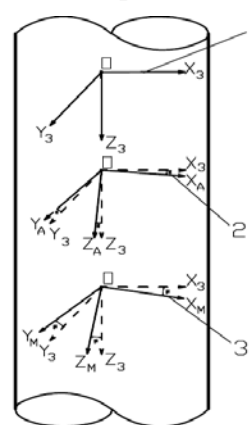


Рис. 2. Системы координат:
1 – инклинометрического устройства, 2 – акселерометрического первичного преобразователя, 3 – магнитометрического первичного преобразователя

(диаметром охрannого кожуха инклинометра 42 мм и менее).

Однако вопросы, связанные с погрешностями первичных преобразователей при перестановке инклинометра в буровой трубе, что обусловлено несоответствием осей измерения инклинометра и осей первичных преобразователей в литературе, не рассматриваются. Таким образом, разработка способа учета перекосов первичных преобразователей инклинометра при его перестановке в буровой трубе, который бы упростил определение ориентации скважины и 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 путем определения корректирующей матрицы угловых отклонений преобразователей.

Основной материал. Пусть $R_3(O, X_3, Y_3, Z_3)$ – репер, связанный с корпусом инклинометра,

То:

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

$R_A(O, X_A, Y_A, Z_A)$ – 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: $R'_3(O, X'_3, Y'_3, Z'_3)$ и $R_M(O, X_M, Y_M, Z_M)$.

Тогда:

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

Аналогично, если известна связь между реперами: $R'_3(O, X'_3, Y'_3, Z'_3)$ и $R_M(O, X_M, Y_M, Z_M)$, 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:

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

Выводы. Впервые предложен способ повышения точности первичных преобразователей инклинометра путем 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 ИСПОЛЬЗОВАННОЙ 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-bureniye>. – Загл. с экрана. – Проверено 12.03.2018.
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 керновідбірника / О. А. Пономарьова, І. В. Рижков, С. М. Пономарьов // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. /

- Приднeпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2016. – Вып. 94. – С. 125–130. – (Компьютерные системы и информационные технологии в образовании, науке и управлении).
7. Рыжков И. В. Анализ инклинометрических устройств контроля скважин / И. В. Рыжков, Л. И. Живцова // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. / Приднeпр. гос. акад. стр-ва и архитектуры. – Днепропетровск, 2009. – Вып. 51 : Интенсификация рабочих процессов строительных и дорожных машин. – С. 157–169. – (Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины и оборудование).
 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 12.03.18.
 10. Нестандартные системы для отбора керна. 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 : 12.03.2018.

REFERENCES

1. Kobal' G. *Novyy vzglyad na burenie* [A new perspective on drilling]. *NefteRynok: Elektronnyy zhurnal* [NefteRynok: electronic journal]. May 03, 2015, no 21 (900). Available at: http://www.nefterynok.info/analytics.phtml?art_id=295/ (Accessed on March 12, 2018). (in Russian).
2. Kovchov G.N., Zhivtsova L.I. and Ryzhkov I.V. *Mathematical model of one-axis inclinometer transducer of inclination and sighting angles. Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu* [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. Zhivtsova L.I. *Matematycheskaya model' trexosevogo mikromexanicheskogo akselerometra dlya inklinometricheskoy sistemy kontrolya i orientaciyi skvazhin* [Mathematical model of three-axis micromechanical accelerometer for directional system of control and orientation of boreholes]. *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury* [Bulletin of Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnipropetrovsk, 2014, no. 6, pp. 32–38. (in Russian).
6. Ponomareva O.A., Ryzhkov I.V. and Ponomarov S.M. *Pobudova matematychnoi modeli orientovanoho kernovid-birnyka* [Construction of mathematical model of oriented core sampler]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. *Komp'yuternye sistemy i informacionnye tehnologii v obrazovanii, nauke i upravlenii* [Computer systems and information technologies in education, science and management]. *Pridnopr. gos. akad. str-va i arxitektury* [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2016, iss. 94, pp. 125–130. (in Russian).
7. Ryzhkov I.V. and Zhivtsova L.I. *Analiz inklinometricheskix ustrojstv kontrolya skvazhyn* [Analysis of inclinometric well control devices]. *Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie* [Construction, Materials Science, Mechanical Engineering]. *Pod'emno-transportnye, stroitel'nye i dorozhnye mashiny i oborudovanie* [Hoisting-and-transport, construction and road machinery and equipment]. *Pridnopr. gos. akad. str-va i arxitektury* [Prydniprov's'ka State Academy of Civil Engineering and Architecture]. Dnepropetrovsk, 2009., iss. 51, pp. 187 – 198. (in Russian).
8. Stavychnyi Ye.M., P'iatkivskiy S.A., Plytus M.M., Prytula L.Ya. and Kovalchuk M.B. *Vidnovlennia sverdlodyn – perspektyvnyi napriam zbilshennia obsiahiv vydobutku vuhlevodiv u Zaxidnomu naftopromyslovomu raioni Ukrainy* [Recovery of wells - a promising direction for increasing the production of carbohydrates in the Western oilfield of Ukraine]. *Naftohazova haluz' Ukrainy* [The oil and gas industry of Ukraine]. 2014, no. 6, pp. 3 – 6. (in Ukrainian).
9. “Ukrnafta” *nachala burenie vo L'vovskoy oblasti pervoi skvazhyny v 2016 godu* [“Ukrnafta began drilling the first well in the Lviv region in 2016]. *Unian: informatsiine ahentstvo* [Unian – informational agency]. Available at: <http://economics.unian.net/energetics/1280932-ukrnafta-nachala-burenie-vo-lvovskoy-oblasti-pervoy-skvajinyi-v-2016-godu.html>. (Accessed on March 12, 2018). (in Ukrainian).
10. *Nestandartnye sistemy dlya otbora kerna* [Non-standard systems for core sampling]. *Sistema «Corienting»* [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 March 12, 2018). (in Russian).

Рецензент: Білоконь А. І. д-р техн. наук, проф.

Надійшла до редколегії: 12.10.2017 р.

Прийнята до друку: 27.10.2017 р.