DOI: 10.15593/2224-9923/2014.10.3

УДК 622.243.272:531.746

© Цветков Г.А., Юшков И.Р., Вяткин О.И.,
Балуева Н.Ю., 2014

ИССЛЕДОВАНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ГЕОМАГНИТНОЙ ОСИ ГИРОИНКЛИНОМЕТРА В АЗИМУТЕ ПРИ ПОСТРОЕНИИ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН

Г.А. Цветков, И.Р. Юшков, О.И. Вяткин, Н.Ю. Балуева

**Пермский национальный исследовательский
политехнический университет, Пермь, Россия**

Одним из важнейших проблемных вопросов при бурении нефтегазовых скважин является получение достоверной и оперативной информации о комплексе параметров искривления скважин, необходимых для их проводки в заданный «круг допуска» или в продуктивный пласт. Особую актуальность данные вопросы приобретают при горизонтальном бурении. Метрологические характеристики инклинометрической аппаратуры определяют точность проводки нефтегазовых скважин по заданной траектории и последующий их контроль при геофизических исследованиях. Гироинклинометры предназначены для измерения зенитного угла, азимута географического, угла установки отклонителя бурового инструмента с целью определения пространственного положения оси ствола нефтегазовых и любых других скважин при их бурении, контрольных проверках и ремонте. Инструментальные погрешности инклинометрической аппаратуры в значительной степени определяются качеством метрологического обеспечения на установках пространственной ориентации.

Рассматривается проблема создания автоматизированной управляемой прецизионной установки пространственной ориентации гироинклинометров, в которой в качестве чувствительных элементов используются инерциальные элементы: акселерометры, датчики углов, датчики моментов, гировертикаль, интегрирующие элементы.

Ключевые слова: геомагнитное поле, ориентация, вариации, гироинклинометр, гироприборы, калибровка, акселерометр, моделирование, азимут, зенитный угол, магнитометр, вектор магнитного поля.

RESEARCH OF VARIATION OF GEOMAGNETIC AXIS GIROINKLINOMETRA IN AZIMUT WITHOUT TAKING INTO ACCOUNT CHANGES OF VARIATIONS OF THE GEOMAGNETIC FIELD

G.A. Tsvetkov, I.R. Iushkov, O.I. Viatkin, N.Iu. Balueva

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

One of the most problem aspects when well-drilling is the acquisition of reliable information about the complex of hole deviation characteristics which necessary for taking in given «target area» or productive stratum. These aspects are especially topical when horizontal drilling. Accurate hole making according to given trajectory and its following control when geophysical study depend to a large extent on metrological characteristics of inclinometer apparatus. Rate-gyro systems meant for measuring of inclination angle, geographical azimuth, whipstock orientation angle of drilling tool to identify the attitude position of borehole axis and any other holes when drilling, verification inspection and repair action. Instrumental errors of inclinometer apparatus are mainly identified by quality metrological provision with devices of dimensional orientation.

We consider the problem concerning the creation of automated operated precision device of dimensional orientation of rate-gyro systems where inertial elements such as accelerometer, angle-data transmitter, moment detector, gyrovertical and integrating elements are sensors.

Keywords: geomagnetic field, orientation, variations, rate-gyro system, gyro instruments, trimming, accelerometer, modeling, azimuth, inclination angle, magnetometer, vector of magnetic field.

Введение

Точность проводки нефтегазовых скважин по заданной траектории и последующий их контроль при геофизических исследованиях во многом зависят от метрологических характеристик инклинометрической аппаратуры. Зенитный угол, азимут географический, угол установки отклонителя бурового инструмента измеряются с помощью гироинклинометров с целью определения пространственного положения оси ствола нефтегазовых и любых других скважин при их бурении, контрольных проверках и ремонте. Качество метрологического обеспечения на установках пространственной ориентации во многом определяет инструментальные погрешности инклинометрической аппаратуры [1–8].

В области создания метрологических установок пространственной ориентации проделан большой объем работ по улучшению метрологических характеристик. Весомый вклад в развитие метрологических установок сделали: Г.Н. Ковшов, А.А. Молчанов, Е.А. Салов, Н.Г. Козыряцкий, Г.А. Калистратов, Г.В. Миловзоров, Н.А. Бачманов, И.А. Бушугин, М.Н. Рябинов, В.О. Галета, М.М. Коноваленко, А.С. Найгорин, А.И. Воронцов, В.М. Лобанков, С.Ф. Султанов.

В последние годы в направлении повышения точности определения углового положения осей установок были достигнуты определенные положительные результаты, связанные с внедрением датчиков углового положения пространственных осей УПИ-1М, УПИ-3М, УАПИ-1. Но использование датчиков углового положения не предотвратило возникновения инструментальных погрешностей воспроизведения пространственных углов в метрологических установках. Погрешности воспроизведения азимутальных углов в установках пространственной ориентации при метрологическом контроле инклинометрической аппаратуры больше других связаны с влиянием внешних факторов. Наименее изученным

из факторов влияния являются вариации геомагнитного поля естественного и техногенного происхождения.

Целью работы является исследование влияния геомагнитного поля на возникновение погрешностей гироскопической инклинометрической аппаратуры.

В соответствии с поставленной целью решены следующие задачи:

- анализ метрологических установок пространственной ориентации инклинометрической аппаратуры и их характеристик;
- моделирование ошибок стабилизации гироскопического инклинометра в горизонте и азимуте;
- анализ влияния вариаций геомагнитного поля на погрешности метрологического оборудования.

Анализ метрологических установок пространственной ориентации инклинометрической аппаратуры

Установки пространственной ориентации инклинометрической аппаратуры предназначены для воспроизведения эталонных пространственных углов по азимутальной, зенитной и визирной осям, а также для изготовления, настройки и метрологической аттестации инклинометрической аппаратуры.

Для метрологического обеспечения инклинометрической аппаратуры на геофизических предприятиях распространены метрологические установки типа УСИ-2, УПИ-1, УКИ-2 и др. В последние годы в области создания установок пространственной ориентации типа УПИ-1М, УПИ-3М, УАПИ-1 снижены погрешности, связанные с определением углового положения осей. В этих установках использованы датчики углового положения. Однако погрешности воспроизведения эталонных пространственных углов в этих установках не уменьшились. Это связано с использованием кинематических и конструктивных решений, заимствованных из предыдущих вариантов УПИ-1, УКИ-2. Погрешности этих уста-

новок остаются пограничными для современной скважинной инклинометрической аппаратуры; кроме того, эти установки не автоматизированы по приводам пространственных осей. Известны также установки малых размеров АК ТДИ для градуировки блоков датчиков инклинометров типа ИОП и УПИ-001 для испытания на функционирование инклинометров типа ИГМ-042. В установке АК ТДИ имеется привод зенитной оси, но отсутствуют привод азимутальной оси, привод и датчик углового положения визирной оси, автоматическая система управления приводом. Эта установка способна проводить метрологический контроль инклинометров весом не более 15 кг и длиной не более 1600 мм. Это показывает, что автоматизация установок с консольной азимутальной осью возможна частично и только для установок малых размеров. В установке малых размеров УПИ-001, выполненной в рамочной конструкции, в качестве датчиков угловых перемещений всех осей применены синусно-косинусные поворотные трансформаторы, имеются приводы всех осей. Установка автоматизирована, но имеет низкую точность и пригодна для проверки работоспособности блоков датчиков весом до 3 кг.

**Динамика развития установок
пространственной ориентации
скважинной инклинометрической
аппаратуры с точки зрения
их автоматизации**

Установки-прототипы сохранили консольный тип крепления азимутальной оси, подшипники скольжения консольного узла крепления азимутальной оси, которые несут на себе вес установки и калибруемой инклинометрической аппаратуры. По мере приработки подшипников скольжения погрешности установки начинают превышать допустимый предел. В связи с этим в установках традиционной компоновки вес инклинометрической аппаратуры ограничивается

значением 20–25 кг, для УКИ-1М – 50 кг, хотя вес забойной инклинометрической аппаратуры составляет 80–150 кг. Расстояние, на которое необходимо удалить блок датчиков инклинометрической аппаратуры, зависит от массы привода, его пространственного расположения, уровня излучаемых приводом электромагнитных помех и составляет 2–3 м.

Тип крепления зенитной оси по мере развития установок трансформируется от консольного (УСИ-2, УПН-1) до двухопорного с противовесом (УПИ-1). В рассматриваемых установках радиальная несбалансированность зенитной оси возникает из-за разности моментов инерции балансиров и консольно закрепленного скважинного инклинометра. Большие вращающиеся инерционные массы зенитной оси с противовесами также требуют мощного электропривода для преодоления момента трогания, который не может быть размещен в габаритах установки на требуемом удалении от блока датчиков инклинометрической аппаратуры.

Призмный тип крепления корпуса инклинометрической аппаратуры обеспечивает однозначную и надежную опорную поверхность в установках-прототипах, кроме УСИ-2, в которой применен цанговый зажим, где ось цанги и визирная ось вращения жестко не связаны. Цанговый тип крепления корпуса инклинометрической аппаратуры требует немалых радиальных усилий, в случае применения привода визирной оси (оси вращения инклинометрической аппаратуры в радиальной плоскости) радиальные усилия на цангу могут повредить трансмиссию привода. При этом во время крепления тяжелого скважинного инклинометра его ось не совпадает с осью ее вращения за счет прогиба лепестков цанг. При зажиме цанги усилия зажима оказываются недостаточными для подъема скважинного инклинометра на ось вращения.

Уменьшение влияния магнитной неоднородности на возникновение погрешностей инклинометрической аппаратуры

С целью уменьшения влияния магнитной неоднородности геомагнитного поля на возникновение погрешностей блок датчиков инклинометрической аппаратуры располагают в центре вращения азимутальной и зенитной осей (УПИ-1 или УКИ-2), что выдвигает к установкам дополнительные требования:

- введение в конструкцию установок балансировочных грузов, что дополнительно нагружает узлы крепления азимутальной и зенитной осей;

- высокая механическая прочность и жесткость узлов крепления азимутальной и зенитной осей установки (без деформаций и люфтов).

Выполнение этих требований утяжеляет конструкцию установки и требует применения более мощного электропривода зенитной оси. Становится проблемным размещение электропривода на удалении от блока датчиков инклинометрической аппаратуры в габаритах установки для устранения девиации по отношению к инклинометрической аппаратуре. При этом снижается надежность установки в связи с ограничениями по весовому параметру инклинометрической аппаратуры. Следует отметить, что блок датчиков инклинометрической аппаратуры, имеющий линейные размеры 250–400 мм, при вращении в установке образует рабочую область диаметром 400–600 мм, в которой стационарная магнитная неоднородность геомагнитного поля с большой вероятностью может превышать предел допустимого значения, который подлежит учету при метрологическом контроле инклинометрической аппаратуры. Таким образом, расположение блока датчиков в центре вращения установки не устраняет полностью влияния неоднородностей геомагнитного поля, что снижает надежность

установок, сужает область применения и затрудняет их автоматизацию.

В основном сохранился ручной режим привода осей установки. Обслуживание установок с ручным приводом осей требует работы высококвалифицированного персонала на всех этапах контроля: юстировки углов ориентации инклинометрической аппаратуры в пространстве; определения и учета поправок на магнитную неоднородность и девиацию установки в рабочей зоне, учета часовых вариаций геомагнитного поля. Все эти операции занимают достаточно много времени. В результате калибровка одного скважинного инклинометра в соответствии с требованиями по эксплуатации занимает 5–8 ч. При этом погрешность калибровки инклинометрической аппаратуры дополнительно увеличивается из-за длительности калибровки, в течение которой учитываемые поправки могут изменяться. Из анализа характеристик стационарных установок пространственной ориентации инклинометрической аппаратуры и метрологических параметров инклинометрической аппаратуры выявлено, что предел основной погрешности воспроизведения азимутального угла у установок с консольным расположением азимутальной оси составляет (4–30)', зенитного (5–8)', а визирного (8–30)'. Если сравнить эти данные с требованиями, предъявляемыми к инклинометрической аппаратуре (азимут – (12–180)'; зенит – (6–30)', а визирный угол (0,1–3)°), можно заключить, что по азимутальному углу соотношение между максимальной погрешностью эталонного азимутального угла (30') и нижним статистическим пределом основной погрешности измерения азимутального угла инклинометрической аппаратуры 12' составляет 2,5, что противоречит требованиям ведомственной поверочной схемы для скважинных инклинометров, в соответствии с которой соотношение между пределами допускаемой погрешности образцовых и рабочих средств из-

мерений не должно превышать 1/3. При этом только естественные суточные вариации геомагнитного поля вносят дополнительную погрешность, которая может составлять (20–120)'.

По весовым характеристикам существующие установки пространственной ориентации для инклинометрической аппаратуры с традиционной конструктивной компоновкой не пригодны для проведения метрологического обслуживания инклинометрической аппаратуры весом 50–120 кг. Метрологические установки пространственной ориентации выполнены по кинематическим и конструктивным схемам, что приводит к перегрузкам опор азимутальной и зенитной осей. Внедрение автоматизированного привода осей в существующие установки пространственной ориентации связано с изменением их конструкции. Таким образом, проведенный анализ известных метрологических установок позволяет сделать следующие выводы:

- установки с традиционной конструктивной компоновкой по метрологическим и весовым параметрам ограничены в применении для метрологического контроля современной инклинометрической аппаратуры;

- погрешность воспроизведения пространственных углов не всегда соответствует требованиям ведомственной поверочной схемы для скважинных инклинометров;

- для установок традиционной конструкции с консольным типом узла крепления азимутальной оси требуется относительно мощный привод, который создает девиацию в установке. Это не позволяет расположить электропривод в пределах установки и ее полностью автоматизировать;

- расположение блока датчиков инклинометрической аппаратуры в центре вращения установки не позволяет устранить влияние магнитной неоднородности геомагнитного поля, снижает надежность установок, сужает область их

применения и затрудняет их автоматизацию;

- внедрение на установках датчиков положения эталонных пространственных углов позволяет уменьшить погрешность считывания данных, но не уменьшает погрешности пространственной ориентации инклинометрической аппаратуры при метрологическом контроле;

- вызванные геомагнитным полем техногенные вариации соизмеримы с инструментальной погрешностью инклинометрической аппаратуры.

Следовательно, погрешности измерения параметров траектории скважин зависят от метрологических характеристик забойной и скважинной инклинометрической аппаратуры, инструментальные погрешности скважинной гироскопической аппаратуры в значительной степени определяются качеством метрологического обеспечения на установках пространственной ориентации [9–10].

Повышение точности метрологических характеристик установок пространственной ориентации

Из конструктивных особенностей и метрологических характеристик установок пространственной ориентации необходимо повышение точности воспроизведения пространственных углов возможно при разработке научно обоснованных решений, позволяющих:

- устранить субъективные погрешности за счет внедрения программно-управляемого привода осей установки;

- измерять и корректировать погрешности, вызванные влиянием естественных, техногенных вариаций и неоднородностей геомагнитного поля;

- производить начальную прецизионную настройку установки.

При произвольной ориентации гироинклинометра по курсу возникает ошибка гироприборов, обусловленная произвольным углом отклонения продольной оси от географического меридиана. Сис-

тема стабилизации по курсу позволяет автоматически стабилизировать гироскопический инклинометр в направлении магнитного меридиана, а с учетом магнитного склонения осуществить стабилизацию в направлении географического меридиана [11]. Влияние ориентации измерительных осей прибора на его погрешность от угловой скорости вращения Земли при калибровке гироскопического инклинометра приводит к появлению ошибок стабилизации гироскопического инклинометра в горизонте.

Моделирование ошибок стабилизации

Проведем моделирование ошибок стабилизации гироскопического инклинометра в горизонте и азимуте.

Для моделирования будем использовать кинематические уравнения по углам, моделирование будем проводить в среде MachCAD.

Зная широту местности и скорость вращения Земли, можем провести интегрирование уравнений с целью получения углов ориентации. Интегрирование будем проводить методом Рунге – Кутты 4-го порядка с шагом 0,1. Зададим начальные данные нулевыми значениями A , а составляющие угловой скорости движения объекта зададим функцией от времени и определим ошибки стабилизации гироскопического инклинометра в азимуте нулевых начальных условий (рис. 1).

Рис. 1. Изменение ошибки гироскопического инклинометра в азимуте при нулевых начальных условиях

Как видно из рис. 1, ошибка гироскопического инклинометра находится в пределах (0–

1°30'). Из рассмотренного выше материала знаем, что на ошибку гироскопического инклинометра оказывает влияние постоянная ошибка от вращения Земли и изменение вариаций геомагнитного поля. Поскольку в уравнениях учтены постоянные ошибки от вращения Земли, необходимо рассмотреть влияние изменения вариаций геомагнитного поля на ошибки гироскопического инклинометра.

Определим ошибки стабилизации гироскопического инклинометра в горизонте, используя кинематические уравнения по углам. График изменения ошибок стабилизации представлены на рис. 2 (ошибки стабилизации по углу крена) и на рис. 3 (ошибки стабилизации по углу тангажа).

Рис. 2. Изменение ошибки гироскопического инклинометра по углу крена

Из рис. 2 видим, что изменение ошибки по углу крена изменяется в пределах (0–4'). Данная погрешность вызвана тем, что при угле тангажа, равном нулю, возникает неопределенность, поэтому при моделировании угол тангажа задавался минимальным числом.

При моделировании ошибок по углу тангажа ошибка из-за неопределенности тангажа в нуле была учтена. Изменение ошибки по углу тангажа находится в пределах (0–8') – рис. 3.

Помимо постоянной ошибки от вращения Земли на ошибки гироскопического инклинометра также оказывает влияние изменение геомагнитного поля.

Программа моделирования ошибок стабилизации в горизонте и азимуте представлена ниже.

Рис. 3. Изменение ошибки гироинклинометра по углу тангажа

Рассмотрим влияние изменения вариаций геомагнитного поля на инклинометрическую аппаратуру.

Программа моделирования

Начальные данные:

Широта местности в точке замера

$$\phi = 58,03.$$

Угловая скорость вращения Земли

$$\Omega = 7,292115 \cdot 10^{-5}.$$

Составляющие угловой скорости движения объекта

$$\begin{aligned} wx1(t) = & \left(\frac{1}{25} \cdot \cos\left(\frac{t^2}{50}\right) t \cos\left(\frac{t}{10}\right) - \right. \\ & - \frac{1}{10} \cdot \sin\left(\frac{t^2}{50}\right) \sin\left(\frac{t}{10}\right) \times \\ & \times \cos\left(\frac{1}{70} t \sin\left(\frac{t}{2}\right)\right) - \\ & - \frac{3}{200} \cdot \cos\left(\frac{t^3}{100}\right) \cdot \sqrt{t} \times \\ & \times \cos\left(\sin\left(\frac{t^2}{50}\right) \cdot \cos\left(\frac{t}{10}\right)\right) \times \end{aligned}$$

$$\times \sin\left(\frac{1}{70}\right) t \sin\left(\frac{t}{2}\right);$$

$$\begin{aligned} wy1(t) = & \frac{3}{200} \cdot \cos\left(\frac{t^3}{100}\right) \sqrt{t} \times \\ & \times \sin\left(\sin\left(\frac{t^2}{50}\right) \cos\left(\frac{t}{10}\right)\right) + \\ & + \frac{1}{70} \cdot \sin\left(\frac{t}{2}\right) + \frac{t}{140} \cdot \cos\left(\frac{t}{2}\right); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} wz1(t) = & \left(\frac{1}{25} \cdot \cos\left(\frac{t^2}{50}\right) t \cos\left(\frac{t}{10}\right) - \right. \\ & - \frac{1}{10} \cdot \sin\left(\frac{t^2}{50}\right) \cdot \sin\left(\frac{t}{10}\right) \times \\ & \times \sin\left(\frac{1}{70} t \sin\left(\frac{t}{2}\right)\right) + \frac{3}{200} \cdot \cos\left(\frac{t^3}{100}\right) \times \\ & \times \sqrt{t} \cos\left(\sin\left(\frac{t^2}{50}\right) \cos\left(\frac{t}{10}\right)\right) \times \\ & \times \cos\left(\frac{1}{70} t \sin\left(\frac{t}{2}\right)\right). \end{aligned}$$

Составляющие угловой скорости вращения Земли:

$$wx = \Omega \cdot \cos(\phi);$$

$$wz = \Omega \cdot \sin(\phi).$$

Решение методом Рунге – Кутты 4-го порядка с шагом 0,01:

Начальные данные задаем из условия, что гироинклинометр выставлен по магнитному меридиану в горизонте в нулевом положении.

$$D(t, k) := \begin{bmatrix} \left[wz - wx1(t) \cos(k_0) \cdot \frac{1}{\tan(k_2)} + \left(\frac{wx1(t) \cos(k_1) + wy1(t) \sin(k_1)}{\sin(k_2)} \right) \right] \\ - \frac{wx \cdot \cos(k_0)}{\sin(k_2)} + \left[(wx1(t) \cdot \cos(k_1) + wy(t) \cdot \sin(k_1)) \cdot \frac{1}{\tan(k_2)} \right] - wz1(t) \\ - wx \cdot \sin(k_0) + wx1(t) \cdot \sin(k_1) - wy1(t) \cdot \cos(k_1) \end{bmatrix}.$$

Начальные данные:

$$k := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0,000\,001 \end{pmatrix}.$$

Угол тангажа задаем минимальным числом, так как при тангаже 0 – неопределенность.

$$t = 100 \quad \Delta t := \frac{t}{10\,000}$$

$$M0 := \text{rkfixed}\left(k, 0, t, \frac{t}{\Delta t}, D\right).$$

Рис. 4. Изменение ошибок выходных параметров

Рассмотрим изменение азимута при отклонении продольной оси инклинометра от магнитного меридиана (рис. 4).

Смоделируем ситуацию, когда гироскопический инклинометр отклонен от оси меридиана на 10° . При моделировании будем использовать кинематические уравнения по углам [9], так как они более наглядно дают получение ошибок по углам. Построим график ошибки гироскопического инклинометра в азимуте, без учета изменения вариаций геомагнитного поля. Моделирование будем проводить в среде MachCAD.

Изменение составляющих угловой скорости объекта зададим функцией от времени. Интегрирование уравнений [10,

11] проведем численным методом Рунге – Кутты 4-го порядка с шагом 0,01 с. Шаг выбираем минимальным с целью уменьшения ошибок от выбранного метода интегрирования.

График изменения ошибки инклинометра в азимуте при отклонении оси на 10° представлен на рис. 5.

Рис. 5. Изменение ошибки гироскопического инклинометра в азимуте при отклонении геомагнитной оси на 10° без учета изменения вариаций магнитного поля

Сравним результаты, представленные на рисунках, и построим график разности ошибок инклинометра в азимуте при нулевом положении и отклонении оси на 10° (рис. 6).

Рис. 6. Изменение ошибки гироскопического инклинометра, возникающей при отклонении оси инклинометра в азимуте

Как видно из рис. 6, при отклонении оси гироскопического инклинометра от меридиана на 10° ошибка в азимуте возрастает. Появляется постоянная ошибка, равная 34. Изменение ошибки происходит в диапазоне $(-33' - 1^\circ 33')$.

Для получения более точного результата проведем моделирование на угле 50° . Представим график изменения азимута при отклонении продольной оси инклинометра от магнитного меридиана на угол 50° (рис. 7).

Рис. 7. Ошибка гироскопического инклинометра в азимуте при отклонении оси на угол 50°

Как и в первом случае, возникает постоянная ошибка, вызванная отклонением геомагнитной оси инклинометра от меридиана, пропорциональная углу отклонения.

Проведем сравнение графиков изменения ошибки при нулевом отклонении геомагнитной оси и при отклонении на угол 50° . Построим график (рис. 8).

Как видно из рис. 8, при отклонении оси гироскопического инклинометра от

Рис. 8. Разность ошибок гироскопического инклинометра при нулевом отклонении геомагнитной оси и отклонении оси гироскопического инклинометра от меридиана на угол 50°

меридиана на угол 50° появляется постоянная ошибка, примерно равная 3° . Изменение непостоянной ошибки происходит в диапазоне ($1,72^\circ$ – $3,44^\circ$).

Закключение

По результатам моделирования можно сделать вывод, что для обеспечения метрологических характеристик современной гироскопической инклинометрической аппаратуры в условиях воздействия вариаций напряженности геомагнитного поля необходимо дальнейшее повышение точности метрологических установок.

Список литературы

1. Миловзоров Г.В. Анализ инструментальных погрешностей инклинометрических устройств. – Уфа: Гилем, 1997. – 184 с.
2. Методика инклинометрии в высоких широтах при наличии магнитных помех / НПП «Горизонт» // Новые технологии. – Самара, 2005. – 85 с.
3. Устройство для ориентирования датчиков: а.с. 1343006 SU, МКИ 4 Е 21 В 47/022 / Г.В. Миловзоров, Р.А. Султанаев, Г.В. Коган, О.Н. Штанько, В.Н. Якин. № 4039812/22-03; заявл. 20.03.86; опубл. 07.10.87. Бюл. № 37.
4. Установка для настройки и экспериментальных исследований инклинометрических преобразователей: а.с. 1441061 SU, МКИ 4 Е 21 В 47/02 / Г.Н. Ковшов, Г.В. Миловзоров, Р.А. Султанаев, Ш.Б. Воеводин, Л.Н. Егоркина. № 411935/22-03; заявл. 17.09.86; опубл. 30.11.88. Бюл. № 44.
5. Устройство для поверки инклинометров: а.с. 1488453 SU, МКИ 4 Е 21 В 47/02 / В.О. Галета, М.М. Коноваленко. № 4308003/23-03; заявл. 22.09.87; опубл. 23.06.89. Бюл. № 23.
6. Устройство ориентации скважинных приборов: а.с. 1488743 SU, МКИ 4 G 01 В 137/00 / А.И. Воронцов [и др.]. № 394953/24-25; заявл. 07.08.85; опубл. 23.06.89. Бюл. № 17.
7. Установка для настройки и экспериментальных исследований инклинометров: пат. на изобр. 2178522, Рос. Федерация, МНХ Е 21 В047/02, G 01 С 009/00 / Р.И. Алимбеков, А.И. Заико; Науч.-исслед. ин-т техн. систем «Пилот». № 9122810/03. заявл. 01.11.1999; опубл. 20.01.2002. Бюл. № 2.

8. Автоматизированная установка для калибровки инклинометров: пат. на изобр. 2249689, Рос. Федерация, МПК Е 21 В47/02, G 01 С 9/00 / З.Г. Гарейшин, В.М. Лобанков, О.К. Полев, Н.А. Пonomarev, А.Ф. Морозов, О.Л. Рыжиков. № 2002124111/28; заявл. 10.09.2002; опубл. 10.04.2005. Бюл. № 10.

9. Цветков Г.А., Балужева Н.Ю., Костицин В.И. Снижение инструментальных погрешностей гириноклинометров за счет улучшения их пространственной ориентации при калибровках // НТВ «Каротажник». – Тверь: АИС, 2010. – Вып. 8 (197). – С. 111–117.

10. Цветков Г.А., Балужева Н.Ю. Повышение точности гириноклинометров при калибровке на установках пространственной ориентации // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2010. – № 12. – С. 28–30.

11. Цветков Г.А., Балужева Н.Ю., Алымов А.С. Исследование влияния вариаций геомагнитного поля на точность проводки и построение нефтегазовых скважин // Геология и полезные ископаемые Западного Урала: материалы юбил. конф., посвящ. 80-летию геол. ф-та и 95-летию Перм. ун-та. – Пермь, 2011. – С. 125–130.

References

1. Milovzorov G.V. Analiz instrumental'nykh pogreshnostei inklinometricheskikh ustroistv [Analysis of instrumental errors inclinometric devices]. Ufa: Gilem, 1997. 184 p.

2. Metodika inklinometrii v vysokikh shirotakh pri nalichii magnitnykh pomekh [Technique of inclinometry at high latitudes at presence of magnetic interference]. *Novye tekhnologii*. Samara: Nauchno-proizvodstvennoe predpriiatiie "Gorizont", 2005. 85 p.

3. Milovzorov G.V., Sultanaev R.A., Kogan G.V., Shtan'ko O.N., Iakin V.N. Ustroistvo dlia orientirovaniia datchiko [Device for orientation sensor]. *Patent RF No. 1343006*, 1987.

4. Kovshov G.N., Milovzorov G.V., Sultanaev R.A., Voevodin Sh.B., Egorkina L.N. Ustanovka dlia nastroiiki i eksperimental'nykh issledovaniik inklinometricheskikh preobrazovatelei [Installation for settings and experimental studies inclinometric converters]. *Patent RF No. 1441061*, 1988.

5. Galeta V.O., Konovalenko M.M. Ustroistvo dlia poverki inklinometrov [Device for checking inclinometers]. *Patent RF No. 1488453*, 1989.

6. Vorontsov A.I. [et. al]. Ustroistvo orientatsiik skvazhinnykh priborov [Device orientations of down-hole instruments]. *Patent RF No. 1488743*, 1989.

7. Alimbekov R.I., Zaiko A.I. Ustanovka dlia nastroiiki i eksperimental'nykh issledovaniik inklinometrov [Installation for settings and experimental studies inclinometers]. Nauchno-issledovatel'skii institut tekhnicheskikh sistem "Pilot". *Patent RF No. 2178522*, 2002.

8. Gareishin Z.G., Lobanov V.M., Polev O.K., Ponomarev N.A., Morozov A.F., Ryzhikov O.L. Avtomatizirovannaia ustanovka dlia kalibrovki inklinometrov [Automated installation for calibration inclinometers]. *Patent RF No. 2249689*, 2005.

9. Tsvetkov G.A., Balueva N.Iu., Kostitsin V.I. Snizhenie instrumental'nykh pogreshnostei giroinklinometrov za schet uluchsheniia ikh prostranstvennoi orientatsiik pri kalibrovkakh [Decline of instrumental errors gyroscopic inclinometers by improving their spatial orientation during calibration]. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik "Karotazhnik"*. Tver': Avtomaticheskaiia identifikatsionnaia sistema, 2010, no. 8 (197), pp. 111–117.

10. Tsvetkov G.A., Balueva N.Iu. Povyshenie tochnosti giroinklinometrov pri kalibrovke na ustanovkakh prostranstvennoi orientatsiik [Increasing the accuracy of during calibration gyroscopic inclinometers on installations spatial orientation]. *Geologiya, geofizika i razrabotka nefiianykh i gazovykh mestorozhdeniik*, 2010, no. 12, pp. 28–30.

11. Tsvetkov G.A., Balueva N.Iu., Alymov A.S. Issledovanie vliianiia variatsiik geomagnitnogo polia na tochnost' provodki i postroenie neftegazovykh skvazhin [Investigation of the influence of geomagnetic field variations on the accuracy the wiring and the construction of oil and gas wells]. *Materialy iubileinoi konferentsiik, posviashchennoi 80-letiiu geologicheskogo fakul'teta i 95-letiiu Permskogo universiteta "Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala"*. Perm, 2011, pp. 125–130.

Об авторах

Цветков Геннадий Александрович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности Пермского национального исследовательского политехнического университета (614600, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: bg@pstu.ru).

Юшков Иван Романович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазовых технологий Пермского национального исследовательского политехнического университета (614600, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: bg@pstu.ru).

Вяткин Олег Иванович (Пермь, Россия) – магистр кафедры безопасности жизнедеятельности Пермского национального исследовательского политехнического университета (614600, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: bg@pstu.ru).

Балуева Наталья Юрьевна (Пермь, Россия) – аспирант кафедры безопасности жизнедеятельности Пермского национального исследовательского политехнического университета (614600, г. Пермь, Комсомольский пр., 29; e-mail: bg@pstu.ru).

About the authors

Gennadii A. Tsvetkov (Perm, Russian Federation) – doctor of technical sciences, professor of safety of living department of Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomol'skii ave., 29; e-mail: bg@pstu.ru).

Ivan R. Iushkov (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in technical sciences, associate professor of oil and gas technologies department of Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomol'skii ave.; 29 e-mail: bg@pstu.ru).

Oleg I. Viatkin (Perm, Russian Federation) – undergraduate student of safety of living department of Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomol'skii ave., 29; e-mail: bg@pstu.ru).

Natal'ia Iu. Balueva (Perm, Russian Federation) – doctoral student of safety of living department of Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, Komsomol'skii ave., 29; e-mail: bg@pstu.ru).

Получено 05.02.2014