

УДК 004.3:681.586.2:621.317:53.082

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.221019.92.527

МЕТОДИ ВТОРИННОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ПРОСТОРОВОЇ ОРІЄНТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ

РИЖКОВ І. В., к. т. н., доц.

Кафедра інформаційних, інформаційно-вимірювальних та комп'ютерних систем, Державний вищий навчальний заклад «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури», вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 595-32-04, email: riv@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-9105-7149

Анотація. *Постановка проблеми.* Наразі знаходять широке застосування системи, в яких необхідно проводити оцінювання параметрів просторової орієнтації об'єктів. Приклади таких систем – комп'ютерні системи (КС) управління буровим снарядом під час георозвідки, системи прогнозування сейсмічної загрози, діагностичні системи в атомній енергетиці та ін. Таке оцінювання здійснюється, як правило, програмно-апаратними компонентами оцінки просторової орієнтації (ПАКОПО), які входять до спеціалізованих КС і призначені для первинного і вторинного перетворення інформації. При цьому незміщеність оцінки орієнтації визначає ефективність застосування КС. Значна кількість ПАКОПО працює в складних умовах, які характеризуються наявністю вібрації та магнітних аномалій, нестабільністю температури тощо, за жорстких обмежень на розміри первинних перетворювачів (ПП). Аналіз існуючих ПАКОПО показав, що необхідність забезпечення достатньої для потреб практики незміщеності оцінки орієнтації викликає до підвищення ресурсоемності КС у цілому, що суттєво звужує сферу їх застосування. Це зумовлює суперечності між ефективністю і ресурсоемністю ПАКОПО та спеціалізованих КС в цілому. *Мета статті.* Для вирішення цієї суперечності пропонуються методи вторинного перетворення вимірювальної інформації, що дозволяють забезпечити задану незміщеність і підвищити ефективність оцінювання просторової орієнтації об'єктів. **Висновок.** Шляхом математичного моделювання ПП, а також попереднього визначення інструментальних похибок ПП і параметрів зовнішніх магнітних аномалій, знайдено методи вторинної обробки інформації, які дозволяють значно знизити зміщеність оцінки просторової орієнтації об'єктів за допомогою ПАКОПО у складі спеціалізованих КС.

Ключові слова: оцінка орієнтації об'єктів; інклінометр; вторинне перетворення інформації; ферозонд; акселерометр; гіроскоп

МЕТОДЫ ВТОРИЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ОЦЕНКЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТОВ

РЫЖКОВ И. В., к. т. н., доц.

Кафедра информационных, информационно-измерительных и компьютерных систем, Государственное высшее учебное заведение «Придніпровская государственная академия строительства и архитектуры», ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Дніпро, Украина, тел. +38 (050) 595-32-04, e-mail: riv@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-9105-7149

Аннотация. *Постановка проблемы.* Сегодня находят широкое применение системы, в которых необходимо проводить оценку параметров пространственной ориентации объектов. Примерами таких систем являются компьютерные системы (КС) управления буровым снарядом при георазведке, системы прогнозирования сейсмической опасности, диагностические системы в атомной энергетике и другие. Такая оценка осуществляется, как правило, программно-аппаратными компонентами оценки пространственной ориентации (ПАКОПО), входящими в специализированные КС и предназначенными для первичного и вторичного преобразования информации. При этом несмещенность оценки ориентации определяет эффективность применения КС. Значительное количество ПАКОПО работает в сложных условиях, характеризующихся наличием вибрации и магнитных аномалий, нестабильностью температуры и т. д., при жестких ограничениях на размеры первичных преобразователей (ПП). Анализ существующих ПАКОПО показал, что необходимость обеспечения достаточной для потребностей практики несмещенности оценки ориентации приводит к повышению ресурсоемкости КС в целом, что существенно сужает сферу их применения. Это порождает противоречия между эффективностью и ресурсоемкостью ПАКОПО и специализированных КС в целом. *Цель статьи.* Для разрешения этого противоречия в данной работе предлагаются методы вторичного преобразования измерительной информации, позволяющие обеспечить заданную несмещенность и повышающие эффективность оценки пространственной ориентации объектов. **Вывод.** Путем математического моделирования ПП, а также предварительного определения инструментальных погрешностей ПП и параметров внешних магнитных аномалий, разработаны методы вторичной обработки

информации, которые позволяют в значительной степени снизить смещенность оценки пространственной ориентации объектов с помощью ПАКОПО в составе специализированных КС.

Ключевые слова: оценка ориентации объектов; инклинометр; вторичное преобразование информации; феррозонд; акселерометр; гироскоп

METHODS OF SECONDARY INFORMATION TRANSFORMATION FOR THE EVALUATING OF OBJECT'S SPATIAL ORIENTATION

RYZHKOVA I.V., *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

Department of Information, Measuring and Computer Systems, State Higher Educational Institution "Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture", 24-A, Chernyshevskoho St., 49600, Dnipro, Ukraine, tel. +38 (050) 595-32-04, e-mail: riv@pgasa.dp.ua, ORCID ID: 0000-0001-9105-7149

Abstract. Problem statement. Today, systems in which it is necessary to evaluate the parameters of the spatial orientation of objects are widely used. Examples of such systems are computer systems (CS) for drilling control during geological exploration, seismic hazard prediction systems, diagnostic systems in nuclear energy, and others. Such an assessment is carried out, as a rule, by the software and hardware components of the spatial orientation assessment (SHCSOA) included in specialized CSs and are intended for primary and secondary transformation of information. In this case, the bias of the orientation estimation determines the efficiency of the use of the CS. A number of SHCSOA works in difficult conditions, characterized by the presence of vibration and magnetic anomalies, instability of the temperature, etc., with severe restrictions on the size of the primary sensors (PS). An analysis of the existing PAKOPOs showed that the need to ensure the orientation estimation is sufficient for the needs of the practice leads to an increase in the resource of the CS as a whole, which significantly narrows their scope. This gives rise to a contradiction between the efficiency and resource intensity of SHCSOA and specialized CSs. **Purpose.** To resolve this contradiction, this paper proposes methods for the secondary conversion of measurement information, which can provide a given bias and increase the efficiency of assessing the spatial orientation of objects. **Conclusion.** By mathematical modeling of the PS, as well as by preliminary determination of the instrumental errors of the PS and the parameters of the external magnetic anomalies, methods of secondary processing of information are proposed that can significantly reduce the bias in the estimation of the spatial orientation of objects using SHCSOA as part of specialized CS.

Keywords: assessment of the orientation of objects; inclinometer; secondary conversion of information; fluxgate; accelerometer; gyroscope

Постановка проблеми. Наразі існує велика кількість задач, які передбачають застосування комп'ютеризованих ПАКОПО об'єктів та пов'язані з різними галузями промисловості: авіаційною, машинобудуванням, будівництвом, нафто- і газорозвідкою та ін. [1; 2; 4; 10].

При цьому сам процес оцінювання потребує використання як компонентів ПАКОПО інклінометричних ПП з поліпшеними експлуатаційними характеристиками. Це дає можливість істотно підвищити ефективність роботи всієї КС і знизити показник вартості.

Наприклад, сучасна нафтогазодобувна промисловість характеризується великим обсягом похило спрямованого і кушового буріння, значно зросла кількість буріння на морі з плавучих і стаціонарних бурових платформ. У цілому по Україні кількість похило спрямованого буріння становить понад 60 % [5; 7].

За оцінками фахівців, ресурси нафти в Україні складають понад 1,1 млрд тонн. Основні й найбільш перспективні нафтоносні райони – Прикарпатський, Дніпровсько-Донецький і Причорноморський. За прогнозами, шельфи Чорного моря і дна Азовського моря вважаються дуже перспективними районами, ведуться роботи з пошуку тут нових родовищ.

Проте родовища в Україні старі, розсіпані на великих територіях і через глибоке залягання важко піддаються освоєнню. У підсумку, собівартість розвідки і видобутку нафти в Україні надто висока.

Територія України характеризується щільністю забудови та великими площами сільськогосподарських районів, де неможливе проведення бурових робіт. Це змушує активно використовувати методи кушового буріння.

Процес, пов'язаний із будівництвом георозвідувальних свердловин методами кушового буріння, передбачає широке

використання похило спрямованих та горизонтальних свердловин, які під час будівництва потребують високоефективного і оперативного контролю їх траєкторії. Це, у свою чергу, потребує ефективного і своєчасного оцінювання орієнтації бурового інструменту на кожному етапі будівництва свердловини.

Складність цієї оцінювання зумовлюється складними умовами проведення робіт: вібрації, висока температура, віддаленість від поверхні Землі, наявність зовнішніх магнітних аномалій та жорсткі обмеження щодо габаритних розмірів інклінометра.

Аналіз публікацій

Аналіз відомих наукових розробок у напрямку досліджень показує, що основні роботи спрямовані на поліпшення технічних характеристик самих ПП на етапі їх виготовлення. Але це значно підвищує собівартість датчиків і, як наслідок, змушує межі їх реального застосування [2; 3; 8; 10].

Відоме використання як елементів ПАКОПО забійних інклінометричних систем, які забезпечують надто високе зміщення оцінки орієнтації та недостатню надійність роботи обладнання [2; 6; 9]. Інклінометричні системи на базі ЗІС-4 забезпечують прийнятну незміщеність оцінки, проте мають великі габаритні розміри та значні обмеження щодо умов застосування [3; 5]. Найбільш перспективними на сьогоднішній день вважаються ПП з кабельним каналом зв'язку [2; 6–8]. Проте тривають роботи з удосконалення КС, в яких ПАКОПО використовується з електромагнітним і гідравлічним каналами зв'язку [6; 8–10]. Всі відомі дослідження стосуються саме розробки ПАКОПО з високоякісними і дорогими ПП, і майже відсутні роботи направлені на розроблення методів опрацювання вторинної інформації з метою поліпшення технічних характеристик існуючих інклінометричних пристроїв.

Мета дослідження. – розроблення методів вторинної обробки інформації, які, за використання ПАКОПО у складі КС контролю траєкторії свердловини,

дозволяють знизити зміщеність і підвищити ефективність оцінки орієнтації бурового інструменту під час будівництва глибоких та надглибоких свердловин.

Для досягнення мети потрібні: складання уточнювальних математичних моделей ПП різної конфігурації, які здатні враховувати інструментальні (механічні, електричні та температурні) похибки ПП; розроблення методів обчислення індивідуальних значень перерахованих інструментальних похибок для певного ПП; методів обчислення та подальшого врахування впливу магнітних аномалій різного походження на остаточні показники оцінки орієнтації.

Виклад матеріалу. Будівництво і дослідження свердловин сьогодні проводиться з використанням компонентів КС, які не повною мірою задовольняють вимогам ефективності оцінки орієнтації.

Вибір конструкції інклінометра типу використовуваних ПП і відповідних методів вторинної обробки інформації – найважливіші аспекти, які визначають ефективність оцінки орієнтації за допомогою ПАКОПО.

У загальному випадку ПАКОПО являє собою підсистему комплексної системи управління бурінням, яка відповідає за питання, пов'язані з оцінюванням просторової орієнтації бури та траєкторії свердловини.

ПАКОПО складається з наземного і підземного блоків. Підземний блок містить інклінометричний перетворювач (П) і блок сполучення. До складу наземного блока, крім блока сполучення, входить також персональний комп'ютер, за допомогою якого виконується вторинне перетворення інформації. Наземний та підземний блоки пов'язані між собою каналом зв'язку. ПП у загальному випадку містить датчики, що здатні визначати кути Ейлера просторової орієнтації об'єкта. Тобто це перетворювачі азимуту, зенітного та візирного кутів. Кожний з цих датчиків, у свою чергу, являє собою сукупність ПП і блока первинного перетворення сигналу.

На рисунку 1 зображено структуро-логічну схему обробки інформації для оцінювання орієнтації об'єктів за допомогою ПАКОПО. ПП видають аналоговий сигнал, пропорційний проєкціям векторів магнітного поля Землі (МПЗ), прискорення вільного падіння й кутової швидкості обертання Землі на осі чутливості відповідних ПП азимуту, зенітного і візирного кутів. Далі сигнал оцифровується

і після кодування передається каналом зв'язку в наземний блок вторинної обробки інформації.

В останньому за допомогою комп'ютера відбувається вторинна обробка отриманих даних згідно з математичними моделями, що пов'язують показання інклінометра і кути Ейлера просторової орієнтації об'єкта.

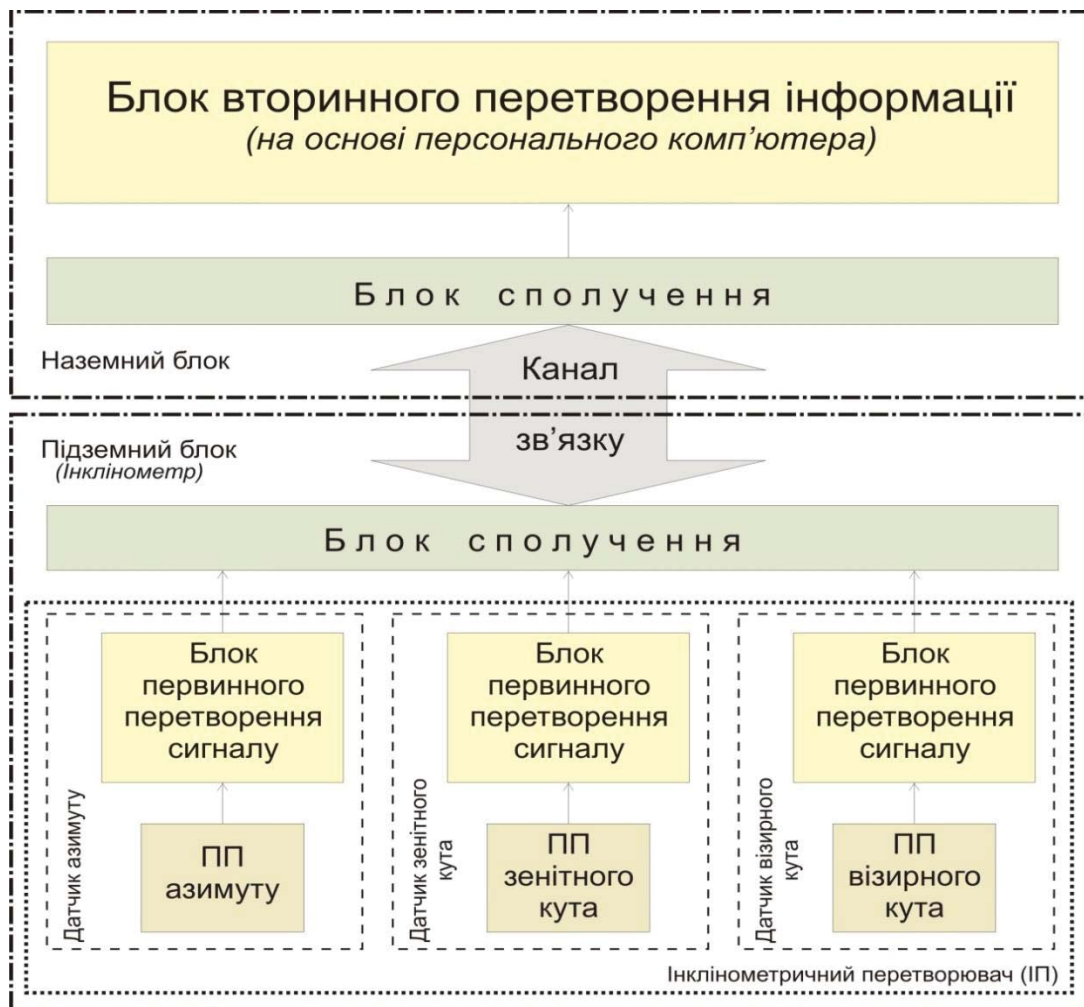


Рис. 1. Структуро-логічна схема обробки інформації для оцінки орієнтації об'єктів за допомогою ПАКОПО / Fig. 1. Structural-logical scheme of information processing for estimation of object orientation by PAKOPO

Отже, вимірювальна інформація обробляється в такій послідовності:

- аналоговий сигнал кожного ПП подається у відповідний блок первинного перетворення сигналу;
- в блоці первинного перетворення сигналу відбувається первинна обробка та виділення інформаційної складової сигналу датчика;

– надалі сигнал перетворюється на цифровий вигляд і в блоці сполучення кодується відповідно до типу каналу зв'язку;

– через відповідний канал зв'язку інформація передається у наземний блок, де вона декодується у наземному блоці сполучення і передається в блок вторинного перетворення інформації;

– остаточна вторинна обробка інформації відбувається за допомогою комп'ютера і відповідно до закладеної математичної моделі інклінометра.

Принципи побудови певних алгоритмів обчислення параметрів α , θ , φ зводяться до

визначення залежностей одиничних ортів ($i = 1, 2, 3$) нерухомого базису R_0 , пов'язаного із Землею, від вимірюваних фізичних величин.

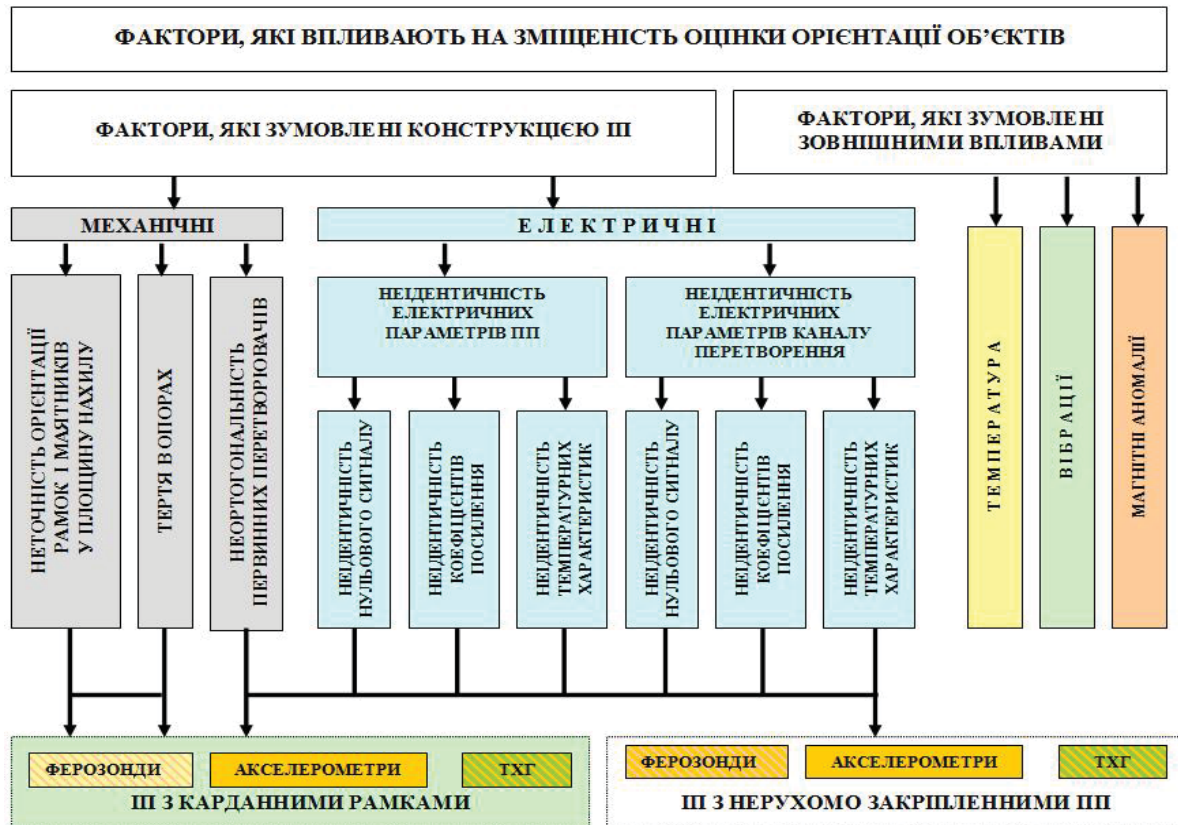


Рис. 2. Фактори, які впливають на зміщеність оцінки орієнтації при використанні ПАКОПО /
 Fig. 2. Factors that affect the bias of orientation estimates when using PACOPO

Проте під час оцінювання орієнтації виникає значна зміщеність. Це відбувається через наявність багатьох дестабілізуючих факторів, які впливають на якість проведення оцінювання.

Для того, щоб розробити методи забезпечення заданої незміщеності оцінки орієнтації, необхідно визначитись із переліком факторів, які зумовлюють появу цих зміщень.

Проведений аналіз виявив, що в найбільш загальному вигляді всі фактори, які впливають на ефективність оцінювання, можливо поділити на дві групи: фактори, зумовлені конструкцією ПП, та зовнішні фактори, що впливають на якість проведення оцінювання орієнтації (рис. 2). Першу групу, у свою чергу, можливо

поділити на механічні та електричні складові. При цьому механічні залежать від якості виготовлення ПП і включають: неортогональність осей чутливості ПП, вплив на роботу ПП тертя опор карданного підвісу і невстановлення карданних рамок у горизонт та площину нахилу інклінометра.

До електричних факторів можливо віднести неідентичність нульових сигналів і коефіцієнтів посилення кожного з чутливих елементів та їх каналів первинного перетворення, а також різні температурні коефіцієнти кожного з використаних ПП.

Зовнішні фактори, що викликають зміщеність оцінки, це насамперед вібраційні перевантаження, температура та наявні магнітні аномалії.

Проаналізувавши вплив кожного з вищезгаданих факторів, а також можливості і шляхи їх усунення, зробили висновок, що більшість із них неможливо усунути технологічними методами, тобто шляхом поліпшення якості виготовлення чутливих елементів.

Так, наприклад, ані температурні, ані електричні характеристики кожного елемента неможливо зробити ідеально збіжними при виготовлення ПП. Навіть у межах однієї партії датчиків їх електричні характеристики відрізняються.

Але розроблені і запропоновані автором методи, які передбачають не усунення, а лише визначення індивідуальних електричних та температурних характеристик кожного з ПП з подальшим їх урахуванням на етапі вторинного перетворення інформації дозволяють звести до мінімуму вплив указаних факторів на

остаточну зміщеність результатів оцінювання орієнтації.

Окремо необхідно відмітити і той факт, що застосування запропонованих методів не викликає до подорожчання ні самих датчиків, ані системи ПАКОПО в цілому.

Що стосується усунення впливу магнітних аномалій на ферозондові датчики азимуту, для цього розроблено та запропоновано два нові методи визначення параметрів магнітних перешкод і девіації від них показників оцінки орієнтації. Це дозволяє на етапі вторинного перетворення інформації врахувати функціональний вплив магнітної девіації та обчислити шукані кути Ейлера, значно знизивши зміщеність результатів оцінювання.

Згідно зі складеною уточнювальною математичною моделлю інклінометра отримано такі вирази для обчислення кутів Ейлера:

$$\operatorname{tg} \alpha = - \frac{(d_1^M - \Delta_1^M t) \sin \varphi + (d_2^M - \Delta_2^M t) \cos \varphi}{(d_1^M - \Delta_1^M t) \cos \varphi \sin \theta - (d_2^M - \Delta_2^M t) \sin \varphi \cos \theta + (d_3^M - \Delta_3^M t) \sin \theta},$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{\Gamma} = - \frac{(d_1^{\Gamma} - \Delta_1^{\Gamma} t) \sin \varphi + (d_2^{\Gamma} - \Delta_2^{\Gamma} t) \cos \varphi}{(d_1^{\Gamma} - \Delta_1^{\Gamma} t) \cos \varphi \sin \theta - (d_2^{\Gamma} - \Delta_2^{\Gamma} t) \sin \varphi \cos \theta + (d_3^{\Gamma} - \Delta_3^{\Gamma} t) \sin \theta},$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\sqrt{(d_1^a - \Delta_1^a t)^2 + (d_2^a - \Delta_2^a t)^2}}{d_3^a - \Delta_3^a t}, \quad \operatorname{tg} \varphi = - \frac{d_2^a - \Delta_2^a t}{d_1^a - \Delta_1^a t},$$

де використовуються наступні позначення: $d_i^M = \frac{U_i^M - U_{0i}^M}{K_i^M}$, $d_i^{\Gamma} = \frac{U_i^{\Gamma} - U_{0i}^{\Gamma}}{K_i^{\Gamma}}$, $d_i^a = \frac{U_i^a - U_{0i}^a}{K_i^a}$, $\Delta_i^M = \frac{U_{0i}^M - A_i^M}{K_i^M}$,

$$\Delta_i^{\Gamma} = \frac{U_{0i}^{\Gamma} - A_i^{\Gamma}}{K_i^{\Gamma}}, \quad \Delta_i^a = \frac{U_{0i}^a - A_i^a}{K_i^a}, \quad U_i^M, U_i^{\Gamma}, U_i^a, U_{0i}^M, U_{0i}^{\Gamma}, U_{0i}^a - \text{сигнали і нульові сигнали відповідно}$$

магніточутливого, гіроскопічного і акселерометричного датчиків; $A_i^M, A_i^{\Gamma}, A_i^a, K_i^M, K_i^{\Gamma}, K_i^a$ – температурні коефіцієнти відповідно магніточутливого, гіроскопічного і акселерометричного датчиків; α, α_{Γ} – відповідно магнітний та географічний азимут; θ – зенітний і φ – візорний кут; $i = 1, 2, 3$.

При цьому значення температурних коефіцієнтів і нульових сигналів обчислюються попередньо в лабораторних умовах індивідуально для кожного ПП.

Уточнювальна математична модель інклінометра, що враховує перекося осей чутливості ПП, має вигляд:

$$\operatorname{tg} \alpha = - \frac{(d_1^M - \mu_{13}^M d_2^M + \mu_{12}^M d_3^M) \sin \varphi + (d_2^M + \mu_{23}^M d_1^M - \mu_{21}^M d_3^M) \cos \varphi}{(d_1^M - \mu_{13}^M d_2^M + \mu_{12}^M d_3^M) \cos \varphi \sin \theta - (d_2^M + \mu_{23}^M d_1^M - \mu_{21}^M d_3^M) \sin \varphi \cos \theta + (d_3^M - \mu_{32}^M d_1^M + \mu_{31}^M d_2^M) \sin \theta},$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{\Gamma} = - \frac{(d_1^{\Gamma} - \mu_{13}^{\Gamma} d_2^{\Gamma} + \mu_{12}^{\Gamma} d_3^{\Gamma}) \sin \varphi + (d_2^{\Gamma} + \mu_{23}^{\Gamma} d_1^{\Gamma} - \mu_{21}^{\Gamma} d_3^{\Gamma}) \cos \varphi}{(d_1^{\Gamma} - \mu_{13}^{\Gamma} d_2^{\Gamma} + \mu_{12}^{\Gamma} d_3^{\Gamma}) \cos \varphi \sin \theta - (d_2^{\Gamma} + \mu_{23}^{\Gamma} d_1^{\Gamma} - \mu_{21}^{\Gamma} d_3^{\Gamma}) \sin \varphi \cos \theta + (d_3^{\Gamma} - \mu_{32}^{\Gamma} d_1^{\Gamma} + \mu_{31}^{\Gamma} d_2^{\Gamma}) \sin \theta},$$

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{\sqrt{(d_1^a - \varepsilon_{13} d_2^a + \varepsilon_{12} d_3^a)^2 + (d_2^a + \varepsilon_{23} d_1^a - \varepsilon_{21} d_3^a)^2}}{d_3^a - \varepsilon_{32} d_1^a + \varepsilon_{31} d_2^a}, \quad \operatorname{tg} \varphi = -\frac{d_2^a + \varepsilon_{23} d_1^a - \varepsilon_{21} d_3^a}{d_1^a - \varepsilon_{13} d_2^a + \varepsilon_{12} d_3^a},$$

де $\mu_{ij}^M, \mu_{ij}^T, \varepsilon_{ij}$ ($i, j = 1, 2, 3$) – малі перекося осей чутливості відповідно магніточутливих ПП, гіроскопів та акселерометрів.

Що стосується впливу магнітних аномалій, то розглядаються два основні їх джерела: постійне магнітне поле аномалії від самої бурової колони, в якій закріплено ПП, та зовнішнє нерухоме відносно Землі постійне магнітне поле аномалії будь-якого походження, в тому числі від обсадних труб діючої або інших свердловин, сторонніх підземних об'єктів, які являють собою джерело магнітного поля.

У першому випадку пропонується провести обертання всієї бурової колони навколо повздовжньої осі свердловини з подальшим обчисленням постійної та змінної складової магнітного поля, що вимірюється, та обчислити параметри магнітної аномалії від самої бурової колони.

У другому випадку пропонується провести попередні заміри в усті свердловини величин та орієнтації опорних векторів $\vec{T}, \vec{g}, \vec{\Omega}$ для подальшого контролю їх взаємного розташування. Оскільки вектори \vec{g} і $\vec{\Omega}$ вважаємо стабільними в певному місці, будь-яка зміна величин чи взаємної орієнтації векторів $\vec{T}, \vec{g}, \vec{\Omega}$ може відбуватися лише внаслідок виникнення

зовнішньої магнітної аномалії. Таким чином, реєструючи та обчисливши ці зміни, можна обчислити параметри магнітної аномалії в точці виміру.

У статті наведено певні послідовності дій, вимірів, обчислень та відповідні математичні вирази, які дозволяють реалізувати запропоновані методи вторинної обробки інформації за допомогою ПАКОПО на практиці.

Висновок. Таким чином, зазначено основні фактори, що викликають зміщеність оцінки орієнтації об'єктів за використання ПАКОПО. Розроблено уточнювальні математичні моделі інклінометра і методи вторинної обробки інформації, які дозволяють забезпечити задану незміщеність оцінки орієнтації шляхом попереднього визначення і подальшої математичної компенсації впливу таких факторів як: неідентичність електричних і температурних характеристик ПП, перекося їх осей чутливості, а також вплив зовнішніх магнітних аномалій, що виникають у зоні оцінювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Эксплуатация технологического комплекса «Мониторинг строительных конструкций АЭС». Общие положения : Стандарт ГП «Национальная атомная энергогенерирующая компания «Энергоатом» / [Е. А. Бауск, И. Н. Матюшенко, И. В. Рыжков]. – СОУ НАЭК 109:2016. – Киев, 2016. – 48 с.
2. Технология и техника бурения : монография / [В. С. Войтенко, А. Д. Смычник, С. Ф. Шемет]. – Минск : Юнипак, 2009. – 416 с.
3. Технология и техника бурения : учеб. пособие / В. С. Войтенко и др.; под общ. ред. В. С. Войтенко. В 2 ч. Ч. 2. Технология бурения скважин. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2013. – 613 с.
4. Исаченко В. Х. Инклинометрия скважин : монография / [В. Х. Исаченко]. – Москва : Недра, 1987. – 216 с.
5. Колпашников Г. А. Инженерная геология : пособ. / Г. А. Колпашников. – Минск : БНТУ, 2017. – 90 с.
6. Нескоромных В. В. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин : учеб. пособ. / В. В. Нескоромных. – Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2016. – 322 с.
7. Рыжков И. В. Инклинометрические приборы. Конструкции и способы повышения точности : монография / [И. В. Рыжков]. – Saarbrücken, Deutschland : LAPLAMBERT Academic Publishing, 2016. – 274 с.
8. Бурение разведочных скважин : монография / [Н. В. Соловьев, В. В. Кривошеев, Д. Н. Башкатов и др.]. – Москва : Высшая школа, 2007. – 904 с.
9. Шенберг В. М. Техника и технология строительства боковых стволов в нефтяных и газовых скважинах : монография / [В. М. Шенберг]. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2007. – 594 с.

10. Юшин Е. С. Техника и технология текущего и капитального ремонта нефтяных и газовых скважин на суше и на море : учеб. пособие / Е. С. Юшин. – Ухта : УГТУ, 2019. – 292 с.

REFERENCES

1. Bausk Ye.A. *Eksploatatsiya tekhnologicheskogo kompleksa "Monitoring stroitel'nykh kon-struktsiy AES". Obshchiye polozheniya : Standart gosudarstvennogo predpriyatiya "Natsional'naya atomnaya energogeneriruyushchaya kompaniya "Energoatom". SOU NAEK* [Operation of the technological complex "Monitoring of NPP Construction Structures". General provisions : Standard of the state enterprise "National Atomic Energy Generating Company "Energoatom"]. SOU NAEK 109:2016, Kyiv, 2016, 48 p. (in Russian).
2. Voytenko V.S., Smychnik A.D. and Shemet S.F. *Tekhnologiya i tekhnika bureniya* [Drilling technology]. Minsk : Yunipak, 2009, 416 p. (in Russian).
3. Voytenko V.S. and oth. *Tekhnologiya i tekhnika bureniya : ucheb. posobiye* [Drilling technology and techniques: textbook. allowance]. *Tekhnologiya bureniya skvazhin* [Well drilling technology]. In 2 parts. P. 2. Minsk : Novoye znaniye, Moscow : INFRA-M, 2013, 613 p. (in Russian).
4. Isachenko V.Kh. *Inklinometriya skvazhin* [Well inclinometry]. Moscow : Nedra, 1987, 216 p. (in Russian).
5. Kolpashnikov G.A. *Inzhenernaya geologiya : posobiye* [Engineering Geology: a handbook]. Minsk : BNTU, 2017, 90 p. (in Russian).
6. Neskorumnykh V.V. *Bureniye naklonnykh, gorizontol'nykh i mnogozaboynykh skvazhin : ucheb. posobiye* [Drilling of deviated, horizontal and multilateral wells : textbook allowance]. Krasnoyarsk : Sib. Feder. Un-t, 2016, 322 p. (in Russian).
7. Ryzhkov I.V. *Inklinometricheskiye pribory. Konstruktsii i sposoby povysheniya tochnosti* [Inclinometric devices. Designs and methods for increasing accuracy]. Saarbrucken, Deutschland : LAPLAMBERT Academic Publishing, 2016, 274 p. (in Russian).
8. Solov'yev N.V., Krivosheyev V.V., Bashkatov D.N. and oth. *Bureniye razvedochnykh skvazhin* [Inclinometric devices. Designs and methods for increasing accuracy]. Moscow : Vysshaya shkola, 2007, 904 p. (in Russian).
9. Shenberg V.M. and oth. *Tekhnika i tekhnologiya stroitel'stva bokovykh stvolov v neftyanykh i gazovykh skvazhinakh* [Technique and technology for the construction of sidetracks in oil and gas wells]. Tyumen' : TyumGNGU, 2007, 594 p. (in Russian).
10. Yushin Ye.S. *Tekhnika i tekhnologiya tekushchego i kapital'nogo remonta neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more : ucheb. posobiye* [Technique and technology for the current and capital repair of oil and gas wells on land and at sea : studies allowance]. Ukhta : UGTU, 2019, 292 p. (in Russian).

Надійшла до редакції 14.10.2019 р.