

5. New technology of precision polishing of glass optic / Rogov V.V., Filatov Y.D., Kottler W., Sobol V.P. // Optical Engineering. – V. 40, august 2001.- p. 1641-1645.
6. Склеенкова Ж.В. Оценка качества обработки поверхности стекла эллипсометрическим методом // Эллипсометрия в науке и технике. – Вып. 2. – Новосибирск, 1990. – С. 117 – 121.
7. Филатов Ю.Д., Рогов В.В. Особенности процесса полирования стекла инструментом со связанным полировальным порошком // Оптика и спектроскопия.- 1993.- Т. 74, вып. 6.- С. 1229 - 1235.
8. Brown N.J. Some speculations on the mechanisms of abrasive grinding and polishing // Precis. Eng. - 1987. - V. 9. - p. 129 - 138.

Сідорко В.І., Філатов О.Ю., Філатов Ю.Д., Поперенко Л.В. Еліпсометричний контроль поверхонь деталей з неметалевих матеріалів Показано, що у процесі обробки оптичні постійні оброблюваного матеріалу, стану його поверхні й робочого шару інструмента періодично змінюються	Sidorko V.I., Filatov A.Y., Filatov Y.D., Poperenko L.V. Ellipsometric monitoring of surfaces of the nonmetallic materials It is shown, that the optical constants of the processed material, condition of its surface and condition of working layer of the tool it is variable periodically at the manufacturing process
---	--

*Надійшла до редакції
20 липня 2006 року*

УДК 528.022

ВИЗНАЧЕННЯ СТУПІНЮ ДОСТОВІРНОСТІ ДАНИХ В ІНКЛІНОМЕТРИЧНИХ ПРИСТРОЯХ

Макарчук В.Ф., ТОВ “Спецсервіс”, м. Київ, Україна

Розробка методів оцінки достовірності даних в інклінометричних пристроях побудованих на датчиках кутової швидкості, магнітометрах та акселерометрах

Вступ. Постановка задачі

Для проведення ефективних геолого-розвідувальних бурових робіт, а також при оцінці стану обсаджених і необсаджених свердловин, які б відповідали сучасним вимогам і міжнародним стандартам неможливо обійтись без інклінометричних пристроїв, які б забезпечували швидке та якісне вимірювання просторових координат в будь-якій точці свердловини.

Задача визначення інклінометричних параметрів свердловини, зокрема азимуту орієнтованого напрямку та кута відхилення від вертикалі, успішно вирішується за допомогою інклінометрів, побудованих на основі безплатформених інерційних навігаційних систем (БІНС). Так з допомогою БІНС, побудованої на основі акселерометрів і датчиків кутової швидкості (ДКШ) чи магнітометрів, можливо визначити азимут та кут відхилення від вертикалі (горизонту) однієї з осей БІНС, застосовуючи відповідний алгоритм [1, 2, 3]. Існуючі алгоритми передбачають застосування абсолютно достовірних даних з ДКШ, акселерометрів та магнітометрів. Крім того, для систем, побудованих за структурою БІНС, технічні характеристики датчиків повинні відповідати вимогам прецизійності.

Існують різні варіанти побудови БІНС для інклінометрів [2, 3], які, враховую-

чи неможливість встановлення одного або декількох первинних датчиків для визначення інклінометричних параметрів, використовують алгоритмічне обчислення відсутньої інформації, за допомогою загальновідомих фізичних констант Землі.

Сучасна інтенсивна розробка та створення високоточних малогабаритних навігаційних пристроїв дозволила виготовити інклінометр, побудований на основі БІНС, який включає в себе три ДКШ (чи три магнітометри) і три акселерометри. Такий інклінометр має змогу вирішувати повну задачу орієнтації в точковому режимі роботи, при неперервній роботі, а також їх швидке суміщення.

Відомі алгоритми не гарантують достовірності інклінометричних параметрів.

Важливою характеристикою інклінометра є можливість проведення оцінки достовірності вимірюваної інформації (відповідності її реальній). При цьому поряд з інструментальними похибками, обумовленими не ортогональністю і не колінеарністю відповідних осей, існують похибки невідповідності умов експлуатації (механічні та кліматичні збурення та інші). Оцінка достовірності даних інтегрально містить у себе не тільки чіткість побудови БІНС (досягнення необхідної ортогональності й колінеарності відповідних осей чутливості датчиків, які на сьогодні вирішені), але й похибки, котрі принадні датчикам, при безпосередньому вимірюванні.

Необхідна розробка таких методів оцінки достовірності даних, що дозволила б визначити точність роботи інклінометру в цілому, а також отримати додаткову інформацію, яка дозволить оператору прийняти рішення про подальше дослідження свердловини.

Структурна побудова інклінометра

Структурно побудову БІНС можна розділити на наступні блоки:

- блок ДКШ (чи блок магнітометрів);
- блок акселерометрів;
- обчислювач.

За умови, що інклінометр знаходиться на нерухомій відносно Землі основі, вимірювані фізичні характеристики Землі вважаємо незмінними, а дією інших збурюючих факторів можна нехтувати, тому первинні датчики БІНС будуть вимірювати проекції вектора швидкості обертання Землі $\vec{\omega}_{\text{Землі}}$, прискорення сили тяжіння \vec{g} і магнітного поля Землі $\vec{M}_{\text{Землі}}$, на відповідні осі чутливості ДКШ, акселерометрів та магнітометрів.

Відомо, що будь-який вектор однозначно розкладається на три ортогональні складові [4]. Відповідно до цього блок ДКШ вимірює три незалежні проекції вектора швидкості обертання Землі, тому що осі чутливості ДКШ взаємно ортогональні. Так само і блок акселерометрів, і блок магнітометрів вимірюють три незалежні проекції вектора прискорення сили тяжіння і напруженості магнітного поля Землі відповідно. Маючи три відповідні незалежні складові є змога знайти величини модулів векторів швидкості обертання Землі, прискорення сили тяжіння та магнітного поля Землі.

Можливі наступні методи оцінки достовірності виміряних даних.

Оцінка за модулем вектора вимірної величини

За значенням сигналів з датчиків отримуємо модуль вектора вимірної величини:

$$C_{\text{Землі}}^B = \sqrt{c_x^2 + c_y^2 + c_z^2},$$

де $C_{\text{Землі}}^B$ - модуль вимірної величини; c_x , c_y , c_z - проекції вектора вимірної величини, на три ортогональні осі X, Y, Z.

Як модуль вимірної величини $C_{\text{Землі}}^B$ може прийматись модуль вектора швидкості обертання Землі $\omega_{\text{Землі}}^B$, напруженості магнітного поля Землі $M_{\text{Землі}}^B$ чи прискорення сили тяжіння Землі $g_{\text{Землі}}^B$ (приведеного прискорення сили тяжіння Землі $K_{\text{Землі}}^{\text{ВП}}$), при розрахунках яких використовуються відповідні проекції вектора вимірної величини c_x , c_y , c_z , а саме ω_x , ω_y , ω_z - проекції вектора швидкості обертання Землі, M_x , M_y , M_z - проекції вектора магнітного поля Землі, g_x , g_y , g_z - проекції вектора прискорення сили тяжіння Землі ($\sin \alpha$, $\sin \beta$, $\sin \gamma$ - синуси кутів відхилення осей БІНС OX , OY , OZ від горизонту відповідно).

Критерієм оцінки достовірності даних з датчиків є величина відносної похибки вимірюваної величини:

$$\left| \frac{C_{\text{Землі}}^B - C}{C} \right| \leq n_c,$$

де, C - модуль вимірюваної величини; n_c - прийняте значення допустимої відносної похибки модуля вимірюваної величини.

Відповідно за модуль вимірюваної величини C приймаються модуль швидкості обертання Землі $\bar{\omega}_{\text{Землі}}$, модуль магнітного поля Землі $\bar{M}_{\text{Землі}}$ та модуль прискорення сили тяжіння Землі \bar{g} (приведений модуль прискорення сили тяжіння Землі 1). Величина прийнятого значення допустимої відносної похибки модуля вимірюваної величини n_c обирається з умов необхідної похибки при визначенні інклінометричних параметрів свердловини і може варіюватись.

До переваг наведених вище методів оцінки достовірності даних належить:

- при розрахунках використовуються показники з трьох датчиків, (чи ДКШ, чи акселерометрів, чи магнетометрів);
- порівняння ведеться з апіорі відомими стабільними у просторі й в часі фізичними величинами;
- є можливість обирати величину допустимої відносної похибки, виходячи з необхідної точності вимірювання фізичних величин.

До недоліків можна віднести:

- не враховується неортогональність між осями чутливості трьох ДКШ (чи трьох акселерометрів, чи трьох магнетометрів);

– незалежно визначають модуль швидкості обертання Землі і модуль прискорення сили тяжіння Землі, відповідно не враховується взаємне геометричне положення відповідних осей ДКШ, акселерометрів і магнетометрів;

– не враховується випадок, коли датчики компенсують свої похибки таким чином, що можливо отримати вимірний модуль, який задовольняє вищенаведеним оцінкам.

Нижче наведений метод оцінки достовірності вимірних даних враховує:

– показники усіх датчиків включених до складу БІНС, трьох ДКШ і трьох акселерометрів;

– взаємне геометричне положення відповідних осей ДКШ і акселерометрів;

– додаткову величину оцінки даних – широту місця вимірювання.

Оцінка за широтою місця

За значенням вимірних сигналів з ДКШ і акселерометрів отримаємо широту місця вимірювання:

$$\varphi^B = \arctg\left(\frac{\omega_\phi}{\omega_\Gamma}\right) = \arctg\left(\frac{\omega_x \sin \alpha + \omega_y \sin \beta + \omega_z \sin \gamma}{\sqrt{B_{1X(Y,Z)}^2 + B_{2X(Y,Z)}^2}}\right),$$

де φ^B - виміряна широта місця;

$\omega_\phi = \omega_x \sin \alpha + \omega_y \sin \beta + \omega_z \sin \gamma = \omega \sin \phi$ - вертикальна складова кутової швидкості обертання Землі;

$\omega_\Gamma = \sqrt{B_{1X(Y,Z)}^2 + B_{2X(Y,Z)}^2}$ - модуль горизонтальної складової кутової швидкості обертання Землі;

$B_{1X(Y,Z)}$ - проекція кутової швидкості обертання Землі на додатній напрямок сліду вимірювальної осі на площині горизонту;

$B_{2X(Y,Z)}$ - проекція кутової швидкості обертання Землі на відмінний на 90° при русі проти часової стрілки (якщо дивитись з кінця додатного напрямку вертикалі місця) напрямок від додатного сліду вимірювальної осі на площині горизонту.

Критерієм оцінки достовірності вимірних даних є величина абсолютної похибки виміряної широти місця.

$$|\varphi^B - \phi| \leq \Delta\phi_{\text{дон}},$$

де ϕ - широта місця (визначається іншими методами);

$\Delta\phi_{\text{дон}}$ - допустиме значення похибки визначення широти місця роботи приладу.

Висновки

Запропоновані методи оцінки достовірності вимірних даних, при проведенні інклінометричних досліджень, дозволяють вирішувати наступні задачі:

– оцінка достовірності даних в точковому режимі роботи приладу;

– визначення нерухомості приладу відносно свердловини при неперервній роботі;

- при русі приладу здійснюється контроль величини кутової швидкості;
- наближення приладу до природних магнітних аномалій.

Такі методи дозволяють оператору відразу прийняти рішення про подальше дослідження свердловини.

Перспективним напрямком подальшого розвитку методів оцінки достовірності виміряних даних є визначення того датчика, який дає хибні значення, і застосування відповідних алгоритмів обробки даних, а також розробка методів по визначенню впливу різних збурюючих факторів на допустимі значення похибок.

Література

1. Суминов В.М., Галкин Д.В. “Математическая модель гироскопического инклинометра”, Изв. ВУЗов, Приборостроение, 1999 г., т.42, №3-4.
2. Ковшов Г.Н., Алимбеков Р.И., Жибер А.В. Инклинометры. (Основы теории и проектирования) – Уфа: Гилем, 1998. – 380 с.
3. Исаченко В.Х. Инклинометрия скважин. – М.: Недра, 1987. – 216 с.
4. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся ВУЗов. – 13-е изд., исправленное. – М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 544 с.

Макарчук В.Ф. Определение степени достоверности данных в инклинометрических приборах	Makarchuk V.F. Determining the Degree of Data Accuracy in Inclinator Devices
Разработка методов оценки достоверности данных в инклинометрических приборах построенных на основе датчиков угловой скорости, магнитометрах и акселерометрах. Оценка проводится по величине модуля измеренной величины (вектора угловой скорости вращения Земли, напряженности магнитного поля Земли и ускорения силы тяжести), а так же по величине широты места измерения	The development of evaluation methods for data accuracy in inclinometer devices based on angle speed sensors, magnetometers, and accelerometers. The evaluation is performed using the measured absolute values (of angle speed vector for Earth rotation, the strength of Earth's magnetic field, and the g acceleration constant) as well as the value of measured latitude

*Надійшло до редакції
8 вересня 2006 року*