

DOI: 10.20535/1810-0546.2018.2.124002
УДК 531.383

П.С. Мироненко, С.А. Мураховський, О.М. Сапегін*
КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМІЧНОЇ КОМПЕНСАЦІЇ ВІБРАЦІЙНОЇ ПОХИБКИ ГІРОТЕОДОЛІТА

Проблематика. Робота присвячена алгоритмічній компенсації вібраційної похибки гіротеодоліта за додатковою інформацією про рух чутливого елемента приладу.

Мета дослідження. Визначення характеристик вібрації, що виникає на місцях встановлення приладів, а також імітаційне моделювання впливу вимірних вібрацій на програмну модель гіротеодоліта й алгоритмічної компенсації вібраційної похибки, що виникає внаслідок дії вібрації, для підвищення точності приладу на обмежено рухомій основі.

Методика реалізації. Вимірювання складових вібрації за допомогою комплексу акселерометрів та визначення характеристик вібрації за допомогою перетворення Фур'є. Складання програмної моделі гіротеодоліта на основі математичної з урахуванням вібрації основи. Перевірка адекватності отриманої моделі на основі аналізу відомих частотних характеристик приладу. Імітаційне моделювання вібраційної похибки та її компенсації на основі реальних сигналів вібраційних прискорень.

Результати дослідження. Показано, що при вібрації основи, на яку встановлюється гіротеодоліт, виникатиме вібраційна похибка, середнє значення якої залежить від конструктивних параметрів приладу та характеристик зовнішньої вібрації. Отримані спектри вібраційних сигналів містять складові, що можуть бути причиною виникнення вібраційної похибки гіротеодоліта. Показано можливість зменшення вібраційної похибки за допомогою методів алгоритмічної компенсації.

Висновки. Вібрації, що виникають у місцях встановлення приладів, спричинятимуть вібраційну похибку, яка досягатиме одиниць градусів. Моделювання показало можливість компенсації сталої складової вібраційної похибки на основі її врахування у вихідному сигналі гіротеодоліта, що дає змогу підвищити точність приладу.

Ключові слова: гіротеодоліт; вібраційна похибка; імітаційне моделювання.

Вступ

Особливістю роботи наземних засобів азимутального орієнтування, побудованих на гіроскопічних вимірювачах, є висока точність визначення напрямку географічного меридіана за відносно короткий проміжок часу незалежно від природних умов, тобто автономно [1–3]. Зважаючи на широке використання сучасних методів орієнтування на основі супутникових навігаційних систем, особливо великого значення набуває використання гіротеодолітів у підземних роботах і при роботі в складі спеціальної техніки, тобто у випадках недоступності зовнішніх джерел інформації [4–6].

Сучасні вимоги, що ставляться до гіротеодолітів, передбачають можливість роботи приладу в умовах обмежено рухомої основи, при цьому характеристики вібрації, частота й амплітуда, як правило, змінюються в широкому діапазоні.

Існують роботи [7, 8], у яких проведено дослідження динаміки гіротеодолітів при вібрації. В [9, 10] показано, що ефективним методом зменшення вібраційної похибки є її алго-

ритмічна компенсація за додатковою інформацією про рух чутливого елемента (ЧЕ) приладу. Однак у вказаних роботах основна увага приділена комп'ютерному моделюванню на основі відомих характеристик зовнішньої вібрації, а при експлуатації приладу характеристики вібрації можуть істотно відрізнитись, тому задача визначення вібраційної похибки за впливу реальних даних на відому математичну програмну модель є актуальною. Подана стаття присвячена імітаційному моделюванню процесу алгоритмічної компенсації похибки гіротеодоліта, що виникає внаслідок вібрації основи, на яку встановлюється прилад.

Постановка задачі

Метою роботи є дослідження характеристик вібрації, що виникає на місцях встановлення приладів, а також імітаційне моделювання впливу вимірних вібрацій на програмну модель гіротеодоліта й алгоритмічної компенсації вібраційної похибки, що виникає внаслідок дії вібрації, для підвищення точності приладу на обмежено рухомій основі.

* corresponding author: sapegin_a@ukr.net

Математична модель гіротеодоліта

Розглянемо рівняння руху ЧЕ гіротеодоліта [7]:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_z \ddot{\alpha} + f_1 \dot{\alpha} + H \omega_3 \cos \varphi_g \alpha + C_z \alpha + H \dot{\beta} = \\ = ml[(W_\xi + \ddot{x})\beta + (W_\eta + \ddot{y})\gamma] + K_{KC} \alpha, \\ -H \dot{\alpha} + (J_x \ddot{\beta} + ml^2 \ddot{\beta} + mgl\beta + f_2 l_k^2 \dot{\beta}) + \\ + ml \ddot{y} + f_2 l_k \dot{y} = -ml W_\eta, \\ ml \ddot{\beta} + f_2 l_k \dot{\beta} + m \ddot{y} + C_y y + f_2 \dot{y} = -m W_\eta, \\ (J_y + ml^2) \ddot{\gamma} + mgl\gamma + f_2 l_k^2 \dot{\gamma} - ml \ddot{x} - \\ - f_2 l_k \dot{x} = ml W_\xi, \\ ml \ddot{\gamma} + f_2 l_k \dot{\gamma} - (m \ddot{x} + C_x x + f_2 \dot{x}) = m W_\xi, \end{array} \right. \quad (1)$$

де W_ξ, W_η – проекції лінійного прискорення точки підвісу гіротеодоліта на горизонтальну площину, α, β, γ – кути повороту ЧЕ відносно корпусу приладу, x, y – лінійні переміщення ЧЕ гіротеодоліта вздовж осей X, Y ; J_x, J_y, J_z – моменти інерції ЧЕ відносно відповідних осей; H – кінетичний момент гіроскопа; m – маса ЧЕ; l – зміщення центра мас ЧЕ відносно точки підвісу; ω_3 – кутова швидкість обертання Землі; φ_g – географічна широта місця встановлення приладу; K_{KC} – коефіцієнт компенсаційного зв'язку; f_1, f_2 – коефіцієнти демпфування; C_z – кутова жорсткість підвісу відносно осі Z ; C_x, C_y – лінійна жорсткість підвісу вздовж осей X, Y .

Відомо, що вібраційну похибку викликають прискорення основи, що діють у горизонтальній площині, а вертикальна складова не має суттєвого впливу внаслідок значної жорсткості підвісу вздовж вертикальної осі [11, 12]. Крім того, найбільшого значення ця похибка набуватиме при напрямку дії вібрації (детермінованої або стохастичної) під кутом 45° відносно напрямку на північ [7, 9], тому для зручності подальших розрахунків прискорення, що викликають вібраційну похибку, подамо у вигляді перевантажень:

$$n_x(t) = \frac{W_\xi}{g} = n(t) \cos(\varepsilon + \psi_0);$$

$$n_z(t) = \frac{W_\eta}{g} = n(t) \sin(\varepsilon + \psi_0),$$

де ε – кут відхилення напрямку вібрації від площини меридіана; ψ_0 – кут відхилення курсової риски приладу від площини меридіана.

Тобто в подальшому будемо вважати, що перевантаження діє під певним кутом до площини меридіана і його можна розкласти на дві складові – $n_x(t)$ та $n_z(t)$. Також у подальшому вважатимемо, що зовнішня вібрація може бути як детермінованою функцією, наприклад $n(t) = n_m \sin \omega t$, так і стаціонарним випадковим процесом, який визначається математичним сподіванням $M[n(t)]$ і кореляційною функцією $K_n(\tau)$:

$$M[n(t)] = 0,$$

$$K_n(\tau) = \sigma_n^2 e^{-\mu_n |\tau|} \left(\cos \lambda_n \tau + \frac{\mu_n}{\lambda_n} \sin \lambda_n |\tau| \right), \quad (2)$$

де σ_n^2 – дисперсія амплітуди перевантаження, λ_n – переважаюча частота поступальної вібрації, μ_n – коефіцієнт кореляційної функції, що характеризує нерегулярність вібрації.

Кореляційній функції (2) відповідає спектральна щільність, яка характеризує розподіл інтенсивності коливань за частотою [13]:

$$S_n(\omega) = \frac{2 \mu_n \sigma_n^2}{\pi} \frac{b_n^2}{\omega^4 + 2 a_n \omega^2 + b_n^4},$$

$$\text{де } a_n = \mu_n^2 - \lambda_n^2, \quad b_n^2 = \mu_n^2 + \lambda_n^2.$$

Узагальнена формула, що визначає середнє значення вібраційної похибки, може бути подана у вигляді

$$\langle \alpha \rangle = K_{GT} K_V [N_\gamma(\omega) + N_\beta(\omega)], \quad (3)$$

де K_{GT} – сталий коефіцієнт, що залежить від параметрів приладу (H, mgl, K_{KC}), K_V – сталий коефіцієнт, що залежить від характеристик вібраційного перевантаження, $N_\gamma(\omega), N_\beta(\omega)$ – частотні характеристики гіротеодоліта.

Крім того, з аналізу літературних джерел відомо, що існують інші форми подання вібраційної похибки [4], які є більш зручними для реалізації методів компенсації похибок:

$$\sin \langle \alpha \rangle = \frac{\langle \dot{\alpha} \gamma \rangle}{\omega_3 \cos \varphi}, \quad (4)$$

$$\sin \langle \alpha \rangle = \frac{-\langle \dot{\alpha} \dot{\gamma} \rangle}{\omega_3 \cos \varphi}. \quad (5)$$

Тобто якщо відомі значення $\dot{\alpha}$ і $\dot{\gamma}$ або $\dot{\gamma}$ і α , то можливо обчислити вібраційну похибку за відповідною формулою та врахувати її у відповідному сигналі приладу як поправку. Величина кутового відхилення ЧЕ від площини меридіана, як правило, є відомою, оскільки кут α безпосередньо вимірюється за допомогою оптичного датчика, що встановлюється на слідкуючому корпусі приладу. Кутову швидкість обертання ЧЕ в азимуті $\dot{\alpha}$ можна визначити за відомим кутом α . Знаходження інших необхідних параметрів руху ЧЕ є набагато більш складною задачею, оскільки рух ЧЕ навколо головної осі гіроскопічно не пов'язаний із коливаннями по кутах α і β .

Експериментальні вимірювання вібраційних прискорень

Для визначення віброприскорень, які діють у місцях встановлення приладів типу гіро-теодоліт, було проведено вимірювання за допо-

могою датчиків ДА-11. Вимірювання проводились у приміщеннях складального цеху, дослідної лабораторії та випробувального полігону.

Експерименти проводились за допомогою спеціального вимірювального комплексу, який включав:

- 1) комплект із 2-х вимірювачів вібраційних прискорень (лінійних акселерометрів ДА-11) в одному корпусі;
- 2) комплект із 3-х вимірювачів вібраційних прискорень (лінійних акселерометрів ДА-11);
- 3) блок живлення і керування вимірювачів;
- 4) пристрій зв'язку АЦП L761;
- 5) персональний комп'ютер із програмним забезпеченням реєстрації та індикації.

На початковому етапі експериментів було проведено порівняльний аналіз спектрального складу шуму каналів АЦП у різних діапазонах вимірювань, який показав практично ідентичні результати по спектральному складу сигналів у діапазонах ± 5 , $\pm 2,5$ і $\pm 0,312$ В. Тому в подальшому як основний в АЦП використовувався вимірювальний діапазон ± 5 В як найбільш прийнятний в умовах неточного горизонту-

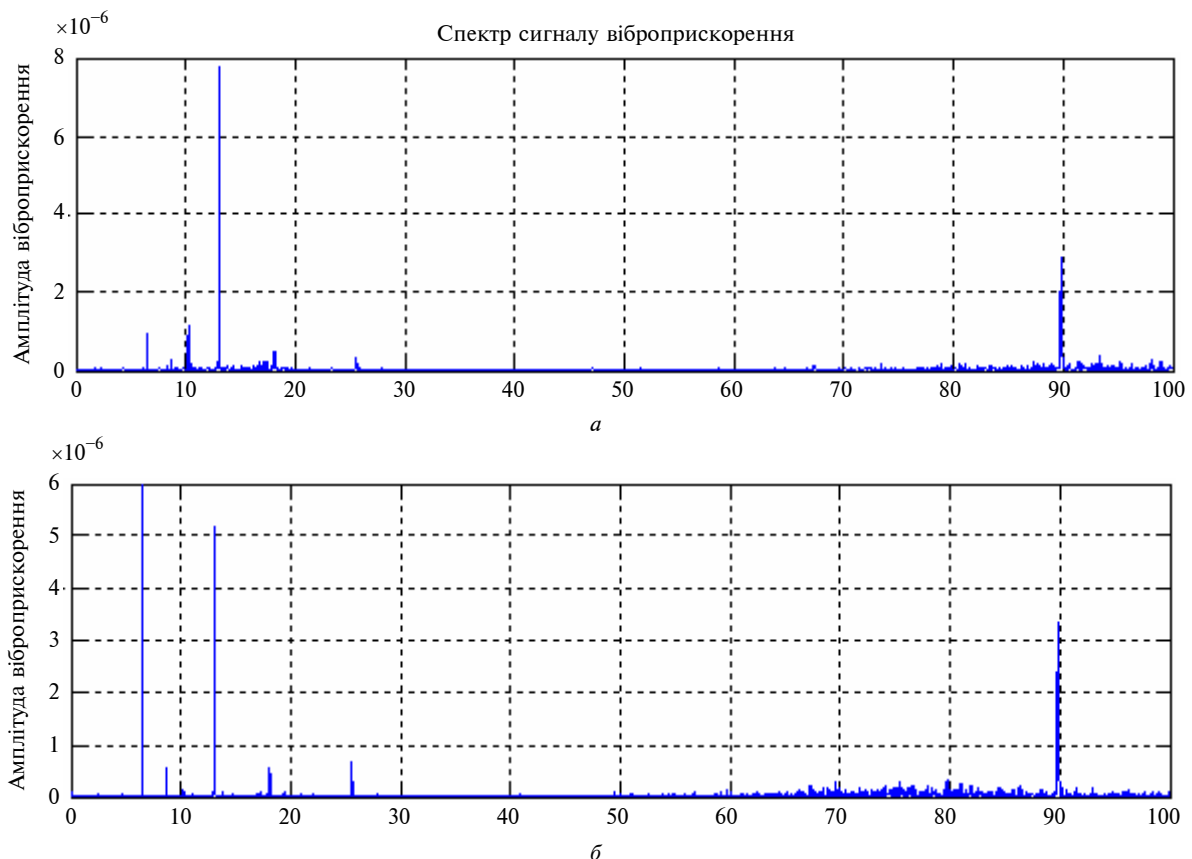


Рис. 1. Вимірювання вібраційного фону в приміщенні випробувального полігону: а – 1-й канал; б – 2-й канал

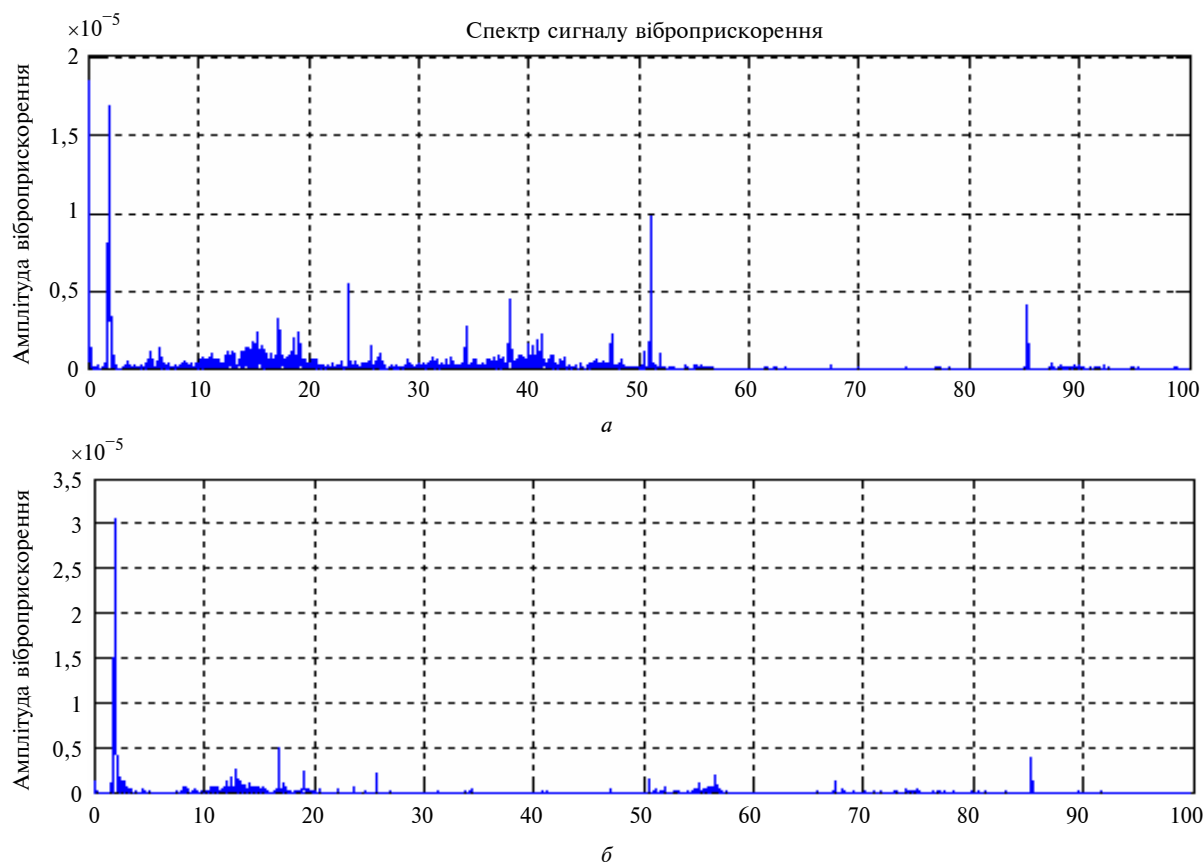


Рис. 2 Вимірювання вібраційного фону в приміщенні дослідної лабораторії: *a* – 1-й канал; *б* – 2-й канал

вання вимірювачів, що може спричиняти до появи значних за величиною (до 1–1,5 В) постійних складових у сигналах датчиків.

Безпосередній аналіз даних, отриманих з вимірювачів віброприскорень у часовій області, ускладнений наявністю багатьох частот у записаному сигналі, тому для аналізу спектрів використано алгоритм швидкого перетворення Фур'є. У результаті було отримано графіки спектрів сигналів вібраційних прискорень, отриманих з 2-х ортогонально розміщених датчиків типу ДА-11 (рис. 1, 2).

На отриманому графіку спектра (див. рис. 1) наявні складові в області 10 Гц, а також близько 90 Гц. З урахуванням амплітудно-частотних характеристик досліджуваного приладу типу гіртеодоліт складова 90 Гц не буде суттєво впливати на точність, а складові близько 10 Гц можуть призвести до появи вібраційної похибки, однак, з урахуванням малої амплітуди віброприскорення близько $6 \cdot 10^{-6}$ м/с², фактично при випробуваннях приладів ця похибка не проявляється. Відповідно до отриманих спектрів вібраційних прискорень (див. рис. 2), най-

більші похибки приладів будуть виникати в приміщеннях дослідної лабораторії внаслідок наявності в спектрі складової з частотою близько 2 Гц. Такий характер спектра, можливо, пов'язаний із коливаннями будівлі на одній із власних частот.

Імітаційне моделювання алгоритмічної компенсації вібраційної похибки гіртеодоліту

Для імітаційного моделювання роботи гіртеодоліта відповідно до отриманої математичної моделі руху ЧЕ (1) було розроблено програмну модель у середовищі MATLAB.

Перевірка адекватності програмної моделі проводилась на основі змодельованого впливу гармонічної вібрації на гіртеодоліт. Виходячи з аналізу амплітудно-частотних характеристик, найбільші величини вібраційної похибки будуть спостерігатись на частотах, близьких до частоти маятникових коливань ЧЕ, яка, для прийнятих параметрів приладу $m = 1$ кг, $l = 0,1$ м, $J_x = 1,3 \cdot 10^{-3}$ кгм², становить

$$\omega_\gamma = \sqrt{\frac{mgl}{J_x + ml^2}} = 9,3 \text{ c}^{-1}.$$

Отже, найбільш несприятливими для роботи гіртеодоліта будуть вібрації з частотами 1–2 Гц, тому покладемо для моделювання значення амплітуди перевантаження $n_m = 0,001$, а частоту $\omega = 9 \text{ c}^{-1}$. Для спрощення аналізу та інтерпретації результатів моделювання вважатимемо відхилення нуля відлікової системи приладу $\psi_0 = 0$. У такому випадку кут α визначатиме похибку вимірювання азимута. Кут нахилу лінії вібрації до площини меридіана виберемо $\varepsilon = 45^\circ$, тобто візьмемо максимальне значення вібраційної похибки. Крім вказаних вище параметрів приладу, задамо в моделі $H = 0,4 \text{ Нмс}$, $J_z = 1,3 \cdot 10^{-2} \text{ кгм}^2$, $J_Y = 4 \cdot 10^{-4} \text{ кгм}^2$, $f_1 = 0,004 \text{ Нмс}$, $f_2 = 0$.

На рис. 3 подано результати моделювання при $\kappa = 100$. Розраховане середнє значення вібраційної похибки за формулою (3) становить $\langle \alpha \rangle_p = 7,30136^\circ$, а значення, отримане в результаті моделювання, $-\langle \alpha \rangle_m = 7,31246^\circ$. Отже, розроблена програмна модель відповідає отриманим теоретичним залежностям.

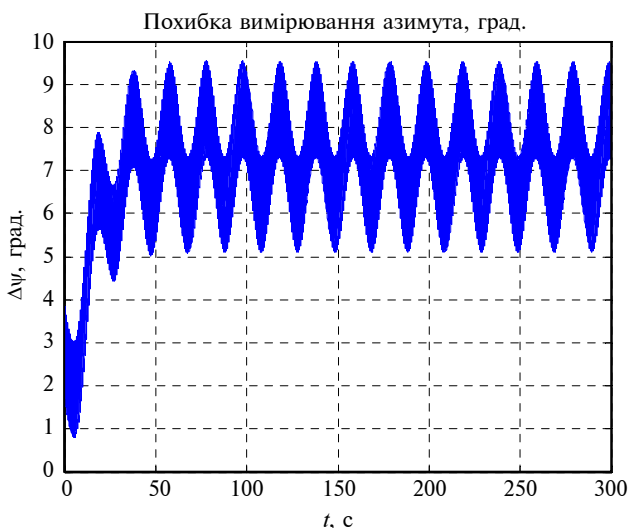


Рис. 3. Результати моделювання при детермінованій вібрації

Для імітаційного моделювання алгоритмічної компенсації вібраційної похибки виберемо експериментальний сигнал, знятий у приміщенні дослідної лабораторії, спектр якого показаний на рис. 2. Рис. 4 демонструє результати імітаційного моделювання вібраційної похибки

гіртеодоліта та її алгоритмічної компенсації відповідно до формул (4), (5).

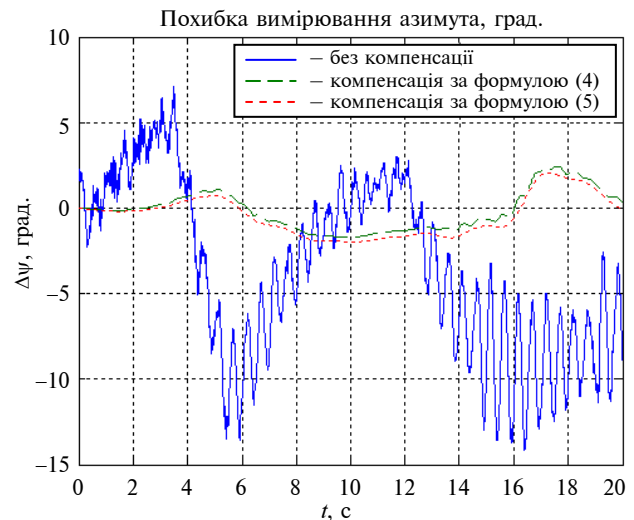


Рис. 4. Результати імітаційного моделювання

Як видно з графіка на рис. 4, частота вимушених коливань відповідає низькочастотній компоненті спектра вібрації основи близько 2 Гц. Середнє значення вібраційної похибки, отримане за результатами імітаційного моделювання, становить $\langle \alpha \rangle_m = -3,5266^\circ$. При моделюванні алгоритмічної компенсації вихідний сигнал пропускався через аперіодичний фільтр другого порядку зі сталою часу $T_\phi = 2 \text{ с}$. Середнє значення вібраційної похибки, після її компенсації, становить $0,3214^\circ$. Отже, запропонований метод дає змогу значно підвищити точність визначення азимута гіртеодолітом за умови обмежено рухомої основи.

Висновки

Показано, що при вібрації основи, на яку встановлюється гіртеодоліт, виникатиме вібраційна похибка, середнє значення якої залежить від конструктивних параметрів приладу — маси ЧЕ, кінетичного моменту, маятниковості, амплітудно-частотних характеристик і характеристик зовнішньої вібрації квадрата амплітуди, частоти та напрямку відносно площини меридіана.

Проведено експериментальні дослідження характеристик вібраційного фону в місцях встановлення приладів типу гіртеодоліт. Показано, що у спектрах вібраційних сигналів наявні низькочастотні складові, які можуть спричинити появу вібраційної похибки гіртеодоліта.

Розроблено програмну модель на основі динамічних рівнянь руху ЧЕ гіртеодоліта, проведено моделювання впливу гармонічної вібрації, яке підтвердило її адекватність.

Як показали результати імітаційного моделювання, вібрації на місцях встановлення приладів спричинятимуть вібраційну похибку, яка досягатиме одиниць градусів. Моделювання також показало можливість компенсації ста-

лої складової вібраційної похибки на основі її врахування у вихідному сигналі гіртеодоліта, що дає змогу підвищити точність приладу.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на визначення вібрацій на об'єктах типу автомобіль, а також на проведення експериментальних досліджень методу алгоритмічної компенсації вібраційної похибки на основі додаткової інформації про рух ЧЕ.

References

- [1] V.V. Serbin and V.P. Frolov, "Modern principles and technologies in topogeodesic preparations of the terrain", in *Proc. IV Int. Sci. Techn. Conf. "Gyrotechnologies, Navigation, Motion Control, and Aerospace Engineering Design"*, Kyiv, Ukraine, 2003, p. 232.
- [2] V.A. Golovanov, *Gyroscopic Orientation*. Saint Petersburg, Russia, 2004.
- [3] U.U. Uriev and O.M. Lihotkin, "Methods of error compensation for ground pendular precision gyro compass", *Vestnik NTUU KPI. Ser. Priborostroenie*, vol. 29, pp. 24–29, 2005.
- [4] R. Andrew *et al.*, "A stable adaptive attitude estimator on SO(3) for true-North seeking gyrocompass systems: Theory and preliminary simulation evaluation", in *Proc. 2017 IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, Marina Bay Sands, Singapore, 2017, pp. 3231–3236. doi: 10.1109/ICRA.2017.7989367
- [5] G. Szabó, "Inertialmesstechnische Richtungsübertragung in einem Vertikalschacht mit der Hilfe von Laserkreisel-Zeitreihenanalyse", in *Beiträge zum 15 Internationalen Ingenieurvermessungskurs*, Graz, Austria, 2007, pp. 383–394.
- [6] Li Guodong *et al.*, "Design and analysis of north-seeking method by time differencing method of gyro-theodolite", in *Proc. 2012 2nd Int. Conf. on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control*, Harbin, China, 2012, pp. 313–317. doi: 10.1109/IMCCC.2012.77
- [7] S.A. Murakhovskyy *et al.*, "Dynamics of land compensating pendular gyrocompass", *Visnik Ingenernoi Akademii Ukrainu*, vol. 2, pp. 125–130, 2010.
- [8] P.M. Bondar and V.I. Koval, "Generalized deviation formula of the pendular weakly damped gyrocompass on a movable base", *Bulletin of NTUU KPI. Ser. Instrument Making*, no. 17, pp. 33–35, 1987.
- [9] S.A. Murakhovskyy, "Modeling of algorithmic compensation of vibrational error of a land pendular gyrocompass", in *Proc. XII Int. Sci. Techn. Conf. "Instrument making: the state and prospects"*, Kyiv, Ukraine, April 27–28, 2010, pp. 24–25.
- [10] S.A. Murakhovskyy, "Gyrotheodolite error estimation under random vibration", *Vestnik NTUU KPI. Ser. Priborostroenie*, iss. 45, pp. 24–30, 2013.
- [11] Y.F. Lazarev, "Two-stage gyrocompass suspension elasticity influence on the accuracy of its indications in vibration", *Bulletin of NTUU KPI. Ser. Instrument Making*, no. 17, pp. 5–9, 1987.
- [12] G.V. Bublik and A.V. Korolev, "Intercardinal deviation of ground gyrocompass with the sensing element magnetic suspension", *Bulletin of NTUU KPI. Ser. Instrument Making*, vol. 14, pp. 19–21, 1984.
- [13] S.S. Rivkin, *Statistical Synthesis of Gyroscopic Devices*. Leningrad, SU: Sudostroenie, 1970.

П.С. Мироненко, С.А. Мураховский, А.Н. Сапегин

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ КОМПЕНСАЦИИ ВИБРАЦИОННОЙ ПОГРЕШНОСТИ ГИРТЕОДОЛИТА

Проблематика. Работа посвящена алгоритмической компенсации вибрационной погрешности гиртеодолита по дополнительной информации о движении чувствительного элемента прибора.

Цель исследования. Определение характеристик вибрации, возникающей в местах установки приборов, а также имитационное моделирование влияния измеренных вибраций на программную модель гиртеодолита и алгоритмической компенсации вибрационной погрешности, которая возникает вследствие действия вибрации, для повышения точности прибора на ограниченно подвижном основании.

Методика реализации. Измерение составляющих вибрации с помощью комплекта акселерометров и определение характеристик вибрации с помощью преобразования Фурье. Составление программной модели гиртеодолита на основе математической с учетом вибрации основания. Проверка адекватности полученной модели на основе анализа известных частотных характеристик прибора. Имитационное моделирование вибрационной погрешности и ее компенсации на основе реальных сигналов вибрационных ускорений.

Результаты исследования. Показано, что при вибрации основания, на которое устанавливается гиртеодолит, будет возникать вибрационная погрешность, среднее значение которой зависит от конструктивных параметров прибора и характеристик внешней вибрации. Полученные спектры вибрационных сигналов содержат составляющие, которые могут быть причи-

ной возникновения вибрационной погрешности гиротеодолита. Показана возможность уменьшения вибрационной погрешности с помощью методов алгоритмической компенсации.

Выводы. Вибрации, возникающие в местах установки приборов, будут вызывать вибрационную погрешность, которая достигает единиц градусов. Моделирование показало возможность компенсации постоянной составляющей вибрационной погрешности на основе ее учета в выходном сигнале гиротеодолита, что позволяет повысить точность прибора.

Ключевые слова: гиротеодолит; вибрационная погрешность; имитационное моделирование.

P.S. Mironenko, S.A. Murakhovskyy, A.N. Sapegin

IMITATING MODELING OF ALGORITHMIC COMPENSATION OF VIBRATION ERROR OF GYROTHEODOLITE

Background. The paper is devoted to the algorithmic compensation of the vibration error of the gyrotheodolite with additional information about the sensitive element movement of the device.

Objective. The aim of the paper is determination of the vibration characteristics occurring at the installation sites of devices, as well as imitating simulation of the effect of the measured vibrations on the gyrotheodolite software model and algorithmic compensation of the vibration error, which arises from the vibration effect, to improve the device accuracy on a limited mobile basis.

Methods. Measuring the components of vibration using a set of accelerometers and determining vibration characteristics using the Fourier transform. Compilation of a gyrotheodolite software model based on a mathematical model taking into account the vibration of the base. Verification of the obtained model adequacy based on analysis of the device known frequency characteristics. Simulation modeling of vibration error and its compensation based on real signals of vibration accelerations.

Results. It is shown that when the base with installed gyrotheodolite vibrates, a vibration error will occur, the average value of which depends on the device structural parameters and the external vibration characteristics. The received spectra of vibration signals contain components that can cause the gyrotheodolite vibration error. The possibility of reducing the vibration error by means of algorithmic compensation methods is shown.

Conclusions. The vibrations arisen in the device installation places will cause a vibration error that can reach units of degrees. Simulation showed the possibility of compensating the constant component of the vibration error based on its accounting in the output signal of the gyrotheodolite, which makes it possible to increase the device accuracy.

Keywords: gyrotheodolite; vibration error; imitating modeling.

Рекомендована Радою
приладобудівного факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
21 лютого 2018 року

Прийнята до публікації
29 березня 2018 року