A.A.Velykorusova

DEVELOPMENT METHODS CREATING THREE-DIMENSIONAL MODELS USING TOTAL STATION TOPCON IS 301

In this work, we propose the method of creating three-dimensional model based on experimental survey, by materials of terrestrial laser scanning, using total station Topcon IS 301. Three-dimensional modeling is one of the most common methods of construction and study of special objects (models). The combination of terrestrial laser scanning and digital survey will help to eliminate disadvantages of each of these methods and explore their advantages. Precisely such an approach based on the combination of two methods, will be considered in this work. The result of research is the description of technology scanning and determining advantages, disadvantages and limitations of this method. The calculation of optimal scan parameters and examples of the field and office works have been shown in work. The method of processing stereo additional modules Image Master Trial. Accuracy defined method for creating three-dimensional models. The developed method was test on the scanned materials of historic building in Kiev.

Keywords: *terrestrial laser scanning, Total Station, 3D model, creating stereo.*

Надійшла до редакції 28.09.2016

УДК 629.7.05:528.526.6

В. М. Гладілін, *канд. техн. наук, професор*
кафедри аерокосмічної геодезії
Національний авіаційний університет
Н. С. Шудра, *ст. викл. кафедри інженерної геодезії,*
П. О.Чуланов, *ст. викл. кафедри інженерної геодезії*
Київський національний університет будівництва і архітектури

МОДЕЛЮВАННЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТОЧОК РЕВЕРСІЇ ПІД ЧАС ГІРОСКОПІЧНОГО ОРІЄНТУВАННЯ

Спостереження точок реверсії осі гіромотора гіротеодоліта у горизонтальній площині дає змогу визначати напрям геодезичного меридіану. Вимірюючи коливання осі гіромотора у вертикальній площині, можна визначити широту місця встановлення гіротеодоліта.

Для підвищення точності визначення геодезичного азимута пропонується встановити модель слабкозатухаючих коливань гідромотора і визначити її параметри. Траєкторія руху осі гіромотора має вигляд еліптичного конуса. Фазова проекція траєкторії руху на площині має вигляд еліптичної спіралі, що апроксимується логарифмічною спіраллю, відношення піввісей котрої визначає полярне стиснення Землі, яке збігається з загальноземним WGS – 84 *або ПЗ –* 90.

© В. М. Гладілін, Н.С. Шудра,
П.О. Чуланов, 2016

Ключові слова: *модель точок реверсії, гіротеодоліт, широта.*

Постановка проблеми. У роботах [3; 4; 6-8; 10; 11] розглянуто коливання осі гіроскопа у горизонтальній площині і мало уваги приділено коливанням у вертикальній площині, які залежать від широти місця встановлення гіротеодоліта. Отже, потрібно дослідити коливання осі гіромотора у вертикальній площині для визначення широти місця встановлення гіротеодоліта.

У всіх гіротеодолітів і гіроскопічних насадок період коливань становить від трьох до дванадцяти хвилин на широті $\varphi = 60^0$ (між двома точками реверсії) і залежить від широти точки встановлення та точності попереднього орієнтування в напрямку меридіана менш як $\pm 10^0$.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботах [2; 4] наведено деякі розрахунки для визначення широти місця спостереження за допомогою гіротеодоліта. Автори робіт [2; 5; 8; 10] пропонують для зменшення часу спостережень визначати коефіцієнт демпфірування або декремент затухання коливань, а також точніше визначати попереднє орієнтування осі гіромотора гіротеодоліта.

У публікаціях [1; 3; 4; 6- 8; 11] скорочення часу спостережень зводиться до зменшення кількості спостережень точок реверсії до трьох або двох, але із суттєвим зниженням точності визначення напрямку осі гіроскопа.

Постановка завдання. Сучасний рівень розвитку мікропроцесорів, в яких можна запрограмувати модель коливань гіроскопа із визначеними параметрами для кожного гіротеодоліта, дає можливість визначити напрям осі гіроскопа за однією або двома точками реверсії, що значно скоротить час спостережень на пункті і зменшить вплив суб'єктивних помилок спостерігача. Для цього зняті відліки накладають на граф перехідної кривої, яку заздалегідь визначають для кожного гіротеодоліта, визначаючи параметри моделі. Визначення вертикальної складової коливань осі гіромотора є важливим для обчислення широти місця і полярного стиснення Землі.

Основна частина. Диференціальне рівняння затухаючого коливання має такий вигляд [9]:

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} + 2\frac{\varepsilon}{\tau}\cdot\frac{d\delta}{dt} + \frac{1}{\tau^2}\delta = 0, \tag{1}$$

а розв'язок рівняння (1) має вигляд:

$$\delta(t) = \mathrm{e}^{-\frac{\varepsilon}{\tau}t}\left(c_1\cos\frac{\sqrt{1-\varepsilon^2}}{\tau}t + c_2\sin\frac{\sqrt{1-\varepsilon^2}}{\tau}t\right), \tag{2}$$

де c_1 і c_2 – довільні постійні. Введемо постійні A і Φ_0, які пов'язані з c_1 і c_2 співвідношеннями: $c_1 = A\sin\Phi_0$; $c_2 = A\cos\Phi_0$, $(A > 0, \ -\pi < \Phi_0 \le \pi)$, тоді рівняння (2) набуде вигляду затухаючого коливального кільця [2]:

$$\delta(t) = A\cdot\mathrm{e}^{-\frac{\varepsilon}{\tau}\cdot t}\sin\left(\frac{\sqrt{1-\varepsilon^2}}{\tau}t + \Phi_0\right), \tag{3}$$

де A – початкове відхилення системи слідкування (початкова амплітуда, відлік на першу точку реверсії); $\tau = \sqrt{I/k}$ – постійна часу системи слідкування, яка

характеризує інерційність кільця; $\varepsilon = \frac{c}{2\sqrt{Ik}}$ – коефіцієнт відносного демпфірування; Φ_0 - початкова фаза; t – час спостережень; $\boldsymbol{I}$ – момент інерції гіроскопа відносно його осі обертання; k – кутова жорсткість струни кручення; c – коефіцієнт демпфірування.

За формулою (3) можна обчислити відхилення осі гіроскопа від астрономічного (геодезичного) меридіана.

Частота власних коливань гіроскопа в перехідному процесі за $0 \le \varepsilon < 1$ буде

$$\omega_{\Pi} = \omega_0 \sqrt{1-\varepsilon^2}\,, \tag{4}$$

звідси

$$\varepsilon^2 = 1 - \omega_{\Pi}^2 / \omega_o^2, \tag{5}$$

де кутова швидкість ω_o є власною частотою коливань системи.

Спростимо вираз (3), зменшивши кількість коефіцієнтів, позначимо $\alpha = \varepsilon/\tau$ – коефіцієнт затухання коливань з розмірністю 1/хвилину;

$f = \sqrt{1-\varepsilon^2}\,/\,\tau$ - частота коливань осі ротора навколо меридіана. Відповідно до цього вираз (3) набуде вигляду:

$$\delta(t) = A \cdot \mathrm{e}^{-\alpha \cdot t} \sin\left(ft + \Phi_0\right). \tag{6}$$

Період незатухаючих періодичних коливань визначають за відомою формулою

$$T = \frac{2\pi}{\omega_{\Pi}} = 2\pi\tau\,.$$

Час, за який заспокоюється коливальна система, є часом закінчення перехідного процесу, обчислюється за формулою $t_{\Pi} \approx 3\tau/\varepsilon$.

Із теорії гіроскопа [4; 6; 10] випливає, що вісь гіроскопа здійснює коливання як у горизонтальній площині (коливання відносно площини геодезичного меридіана, рух зовнішньої рамки), так й у вертикальній площині (коливання відносно геодезичної широти φ, рух внутрішньої рамки). Якщо коливання вісі гіроскопа у горизонтальній площині відбувається відносно меридіана, коли вісь направлена на північ, то у вертикальній площині вісь виконує коливання відносно положення, яке піднято над площиною горизонту на деякий невеликий кут Δβ. Цей кут потрібен гіроскопу для неперервного руху його зовнішньої рамки у світовому просторі слідом за площиною меридіана Землі з вертикальною складовою кутової швидкості $\varphi_{з.в.}$

Траєкторію руху маятникового гіроскопа наведено на рис. 1. Центр еліпса є асимптотичним і недосяжним для системи, тому що коливання слабкозатухаючі.

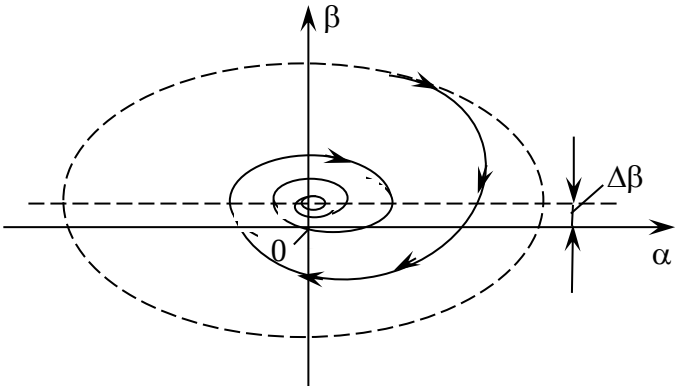


Рис. 1. Траєкторія руху осі маятникового гіроскопа,
коли коливання демпфіруються

Оскільки вертикальна складова $\varphi_{з.в.}$ завжди є, то гіроскопічний момент має постійну і змінну складові, це приводить до того, що на фазовому портреті (рис. 1) траєкторія руху кінця вектора ***H*** (кінетичного моменту гіроскопа) має форму еліпса і зміщена на постійну величину Δβ, α – коливання чутливого елемента (ЧЕ) навколо меридіана, β – коливання ЧЕ навколо горизонту (геодезичної широти) місця. Наявність демпфірування і тертя призводить до затухання коливань і фазова траєкторія матиме вигляд спіралі (див. рис. 1), стійкий фокус якої з точністю до помилок гіромотора і величини кута Δβ асимптотично наближається до початку координат – площини меридіана і вертикалі місця і математично описується логарифмічною спіраллю такого вигляду [2]

$$\rho_i(\Psi) = \rho_o e^{-z\psi} \text{ (рад)}, \qquad (7)$$

де: ρ_o – радіус початкової (першої) точки реверсії; ρ_i - радіуси інших точок реверсії і точок перетину з вертикаллю місця; z – коефіцієнт зменшення радіуса; ψ – кут повороту радіуса спіралі, $\psi = 0^0, 90^0, 180^0, 270^0, 360^0, 540^0$ і так далі.

Якщо гіроскоп розмістити у довільній точці на поверхні Землі з довільною широтою φ (рис. 2), то вектор $\omega_З$ представимо у вигляді двох векторів, які лежать у площині меридіана

$$\omega_{З.Г} = \omega_З \cos\varphi; \quad \omega_{З.В} = \omega_З \sin\varphi \qquad (8)\backslash$$

і є горизонтальною і вертикальною складовими добового обертання Землі.

У разі встановлення гіроскопа на полюсі зміщення має тільки зовнішня рамка, на екваторі зміщення має тільки внутрішня рамка, при довільному встановленні гіроскопа зміщення, яке визначають проекціями складових $\omega_{З.Г}$ і $\omega_{З.В}$ будуть мати обидві рамки і вектор ***H*** за добу опише еліптичний конус, в основі якого буде еліпс (див. рис. 1) з тілесним кутом при вершині, який дорівнює подвійній широті місця 2φ (рис. 2). Широта – кут між векторами $\omega_З$, $\omega_{З.Г.}$

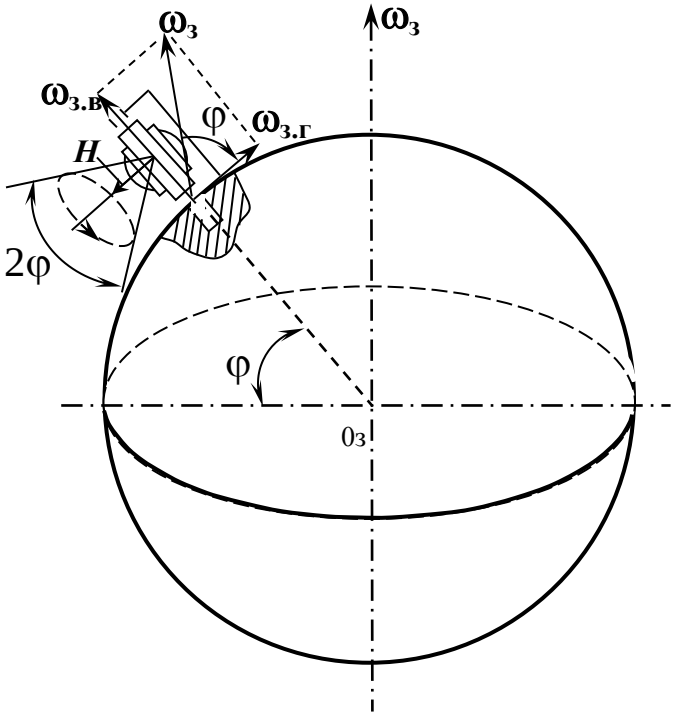


Рис. 2. Рух осі гіроскопа у довільній точці на поверхні Землі з широтою φ

Гіротеодоліт на місці встановлюють відповідно до горизонту за допомогою циліндричного рівня, тобто відносно геоїда, точність приведення осі гіромотора до вертикалі або до горизонту місця залежить від точності циліндричного рівня. З виразу (8) випливає:

$$\cos\varphi = \frac{\omega_{3.\Gamma}}{\omega_3}; \qquad \sin\varphi = \frac{\omega_{3.\text{В}}}{\omega_3}.$$

Кутова швидкість (власна частота коливань) внутрішньої і зовнішньої рамок однакова і дорівнює

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\omega_3 Gl\cos\varphi}{H}} \text{ (рад/с)}, \tag{9}$$

де ω_3 - кутова швидкість обертання землі; G – вага маятника ЧЕ; l – плече прикладання ваги; φ – геодезична широта місця; H – кінетичний момент гіроскопа. Із формули (9) період коливань визначають так:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{H}{\omega_3 Gl\cos\varphi}}, \text{ (с)}; \ \tau = \sqrt{\frac{H}{\omega_3 Gl\cos\varphi}}. \tag{10}$$

У сучасних гіротеодолітах період коливань знаходиться у межах від трьох до 12 хвилин залежно від широти точки спостережень.

Розглянутий рух осі гіроскопа справедливий для його безперешкодної роботи. В реальних умовах в роботі гіротеодоліта трапляються завади, які призводять до затухання коливань осі гіроскопа (демпфірування) й асиметричності коливань навколо точки рівноваги коливального процесу (див. рис. 1). Якщо відлік починати з першої точки реверсії, то $\Phi_0 = \pm 90^0$ – інструментальна поправка гіротеодоліта, і тоді слід визначити параметри A, α і f.

Для визначення цих параметрів після пуску гіротеодоліта *Gi-B*3 № 309654 з гіроблоком № 309654 виконано спостереження десяти точок реверсії. Результати вимірювання наведено у табл. 1.

Коефіцієнти рівняння (6) визначимо за методом найменших квадратів. Розв'язавши чотири нормальних рівняння, знайдемо такі параметри: A=0,071894475 рад, $\alpha_{ср}$=6,251113428 рад; α=0,00004 1/хв.; f =1,93 рад/хв, Φ_0 =0 рад. Відповідно до цих значень вираз (6) набуде вигляду:

$$\delta_0(t) = 6,251113428 + 0,071894475 \cdot e^{-0,00004t} \sin 1,93t \text{ рад.} \qquad (11)$$

Таблиця 1

Спостереження точок реверсії

Час спостережень	Півперіод коливань	Відліки по горизонтальному кругу			
		точок реверсії		середніх положень	положень рівноваги ЧЕ
$19^h25^m13^s$		n_1	$2^0 16' 54''$		
	4^m56^s			$358^0 09' 45,5''$	
		n_2	$354^0 02' 37''$		$358^0 39' 41,5''$
	$9^m45,6^s$			$358^0 09' 37,5''$	
		n_3	$2^0 16' 38''$		$358^0 39' 41,25''$
	$14^m29,1^s$			$358^0 09' 45,0''$	
		n_4	$354^0 02' 52''$		$358^0 39' 41,0''$
	$19^m06,8^s$			$358^0 09' 37,0''$	
		n_5	$2^0 16' 22''$		$358^0 39' 40,75''$
	23^m39^s			$358^0 09' 44,5''$	
		n_6	$354^0 03' 07''$		$358^0 39' 40,5''$
	28^m06^s			$358^0 09' 36,5''$	
		n_7	$2^0 16' 06''$		$358^0 39' 40,5''$
	32^m28^s			$358^0 09' 44,5''$	
		n_8	$354^0 03' 23''$		$358^0 39' 40,5''$
	$36^m45,2^s$	n_9	$2^0 15' 50''$	$358^0 09' 36,5''$	$358^0 09' 40,25''$
$20^h06^m10,7^s$	$40^m57,7^s$	n_{10}	$354^0 03' 38''$	$358^0 09' 44,0''$	

Виміряні у радіанах, а також обчислені за формулою значення (11) і різницю між ними наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Виміряні й обчислені за формулою (11) значення кутів відхилення осі ротора у горизонтальній площині

№ виміру	Час спосте-режень	δ_i, рад	δ_0, рад	Δ, рад	Δ^2, рад^2
1	2	3	4	5	6
1	0	6,3230079	6,2511134	0,0718945	0,0051688
2	4,933	6,1792267	6,2441834	-0,0649570	0,0042194
3	9,760	6,3229303	6,2501966	0,0727337	0,0052902
4	14,485	6,1792994	6,2736021	-0,0943030	0,0088930
5	19,113	6,3228528	6,1990523	0,1238005	0,0153266
6	23,650	6,1793721	6,3226570	-0,1432850	0,0205305
7	28,100	6,3227752	6,1983029	0,1244723	0,0154933
8	32,467	6,1794497	6,2388780	-0,0594280	0,0035317
9	36,753	6,3226976	6,3207298	0,0019680	0,0000039
10	40,962	6,1795224	6,2156714	-0,0361490	0,0013067
			Σ =	-0,0032530	0,0797642

Середня квадратична помилка (СКП) апроксимації значення одного кута δ, визначеного за допомогою рівняння (11), становитиме m_δ= 5,4”

На рис. 3 наведено графік виміряних значень кута δ і їх апроксимуюча крива (11).

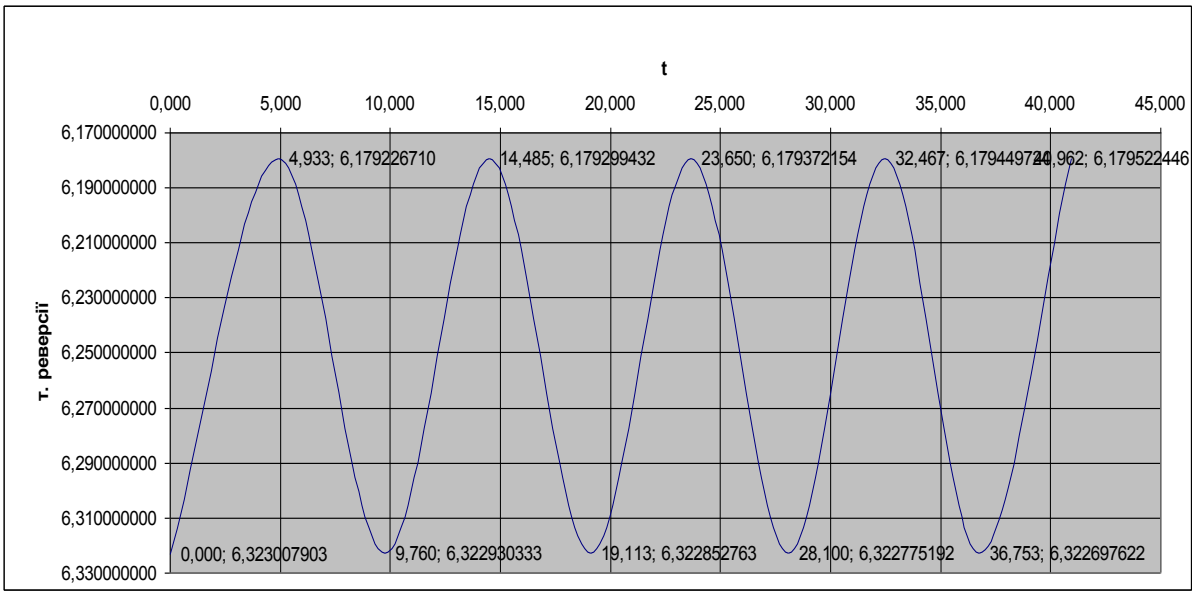


Рис. 3. Виміряні значення кутів δ і їх апроксимуюча крива

З табл. 1. видно, що положення рівноваги ЧЕ зменшується на 1″,25, тобто відбувається систематичний зсув, який можна пояснити як безпосередню помилку у визначенні положення рівноваги ЧЕ [6].

Середнє значення положення рівноваги ЧЕ становитиме $358^{o}09'40^{''},78$, а середня квадратична помилка його визначення – $M_{\delta} = 0,43''$.

За даними табл. 1 і 2 обчислимо параметри логарифмічної спіралі (7), одержимо величини: ρ_o = 0,0000690761 рад, z = - 0,002137961. Вираз (7) набуде такого вигляду:

$$\rho_i(\Psi) = 0,0000690761 * e^{-0,002137961*\Psi}. \quad (12)$$

Виміряні значення радіуса еліпса й обчислені радіуси у радіанах за формою логарифмічної спіралі (12) наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Виміряні значення радіусів еліпса (точок реверсії) і обчислені радіуси за формулою (12) у радіанах

Ψ^o	ρ_i, виміряні	$\rho_i(\Psi)$, обчислені	$\rho_i - \rho_i(\Psi)$	$\rho_i - \rho_i(\Psi)^2$	α стиснення
0	7,75702E-05	6,90761E-05	8,4941E-06	7,22E-11	0,3352673
90		6,88445E-05			1/298,2695
180	7,27221E-05	6,86137E-05	4,1084E-06	1,69E-11	
270		6,83837E-05			
360	6,78739E-05	6,81544E-05	-0,280E-06	0,08E-12	
450		6,79259E-05			
540	6,78739E-05	6,76982E-05	0,1758E-06	0,03E-12	
630		6,74712E-05			
720	5,81776E-05	6,72450E-05	-9,067E-06	8,22E-11	
900		6,70195E-05			
1080	6,30258E-05	6,67948E-05	-3,769E-06	1,42E-11	
1260		6,65709E-05			
1440	6,62033E-05	6,63477E-05	-0,140E-06	0,0197E-12	
1620		6,61253E-05			
1800	6,60198E-05	6,59036E-05	0,2062E-06	0,043E-12	
		Σ =	-0,272E-06	18,567E-11	

Згідно з табл. 3 обчислена різниця між виміряними й обчисленими радіусами еліпса і СКП апроксимації логарифмічною спіраллю становитиме

$$m_{\rho} = \sqrt{\frac{18,567 \bullet 10^{-11}}{5}} \bullet \frac{180}{\pi} \bullet 3600^{''} = 0,''99,$$

що є внутрішньою збіжністю визначення точок реверсії.

За формулою

$$\alpha = (\rho_i(\Psi) - \rho_{i+1}(\Psi))/\rho_i, \; i = 1, 3, 5, \ldots, \quad (13)$$

визначимо коефіцієнт стиснення еліпса (див. рис 1), який відповідає полярному стисненню земного еліпсоїда обертання: α = 1/298,2695 (табл. 3), що можна порівняти із стисненням загальноземного еліпсоїда у системі WGS – 84 (або ПЗ – 90).

Постійну часу системи слідкування, яка характеризує інерційність кільця τ і коефіцієнт відносного демпфірування ε, обчислимо, склавши рівняння:

$$\alpha = \varepsilon / \tau = 0,00004 \ \text{1/сек}, f = \sqrt{1-\varepsilon^2} / \tau = 1,93 \ \text{рад/сек},$$

звідки

$$\varepsilon = \frac{1}{64300}; \quad \tau = 0{,}51843 \text{ с}.$$

Відповідно до виразу (8) широта точки стояння гіротеодоліта визначиться так (рис. 2):

$$tg\varphi = \frac{\omega_{зв}}{\omega_{зг}}. \tag{14}$$

Висновки. Рух осі гіромотора добре апроксимується логарифмічною спіраллю (12). Одночасно за формулою (13) обчислюють полярне стиснення Землі, яке залежить від форми геоїда у місці спостереження. Можна розв'язати й обернену задачу за цими спостереженнями, визначити широту місця встановлення гіротеодоліта за формулою (14). Для приведення широти на поверхню еліпсоїда, треба ввести поправку за відхилення вискової лінії у площині меридіана за відомою формулою

$$\xi = (\varphi - B) - 0,''171H \sin 2B,$$

де H – висота точки фізичної поверхні Землі (точки встановлення гіротеодоліта) над опорним еліпсоїдом.

Для визначення широти і полярного стиснення потрібно облаштувати гіротеодоліт системою спостереження за рухом осі гіромотора у вертикальній площині.

Попереднє визначення для гіротеодоліта перехідної функції, яка апроксимує рух гіромотора у чисельному вигляді (11), дасть можливість на практиці визначити напрям меридіана за однією точкою реверсії, та якщо автоматизувати систему слідкування, можна виміряти будь-яку одну точку на цьому графіку і за допомогою рівняння (11) визначити напрямок меридіана, але в такому разі потрібно визначати також початкову фазу коливань Φ_o.

За таких вимірювань точність визначення напрямку меридіана буде не гіршою за 10", а час вимірювання значно скоротиться.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Боровий В. О.* Українські гіротеодоліти та етапи їх розвитку/ В. О. Боровий, В. Г. Бурачек, П. С. Дітюк-Снісаренко // Інженерна геодезія. – 2005. – № 51. – С. 33 – 45.

2. *Гладілін В. М.* Можливість визначення широти і полярного стиснення гіроскопічним теодолітом.// Вісник астрономічної школи. – 2015. – Т.11. – № 1. – С. 69 – 74.

3. *Денисюк Б. І.* До питання автоматизації процесу визначення азимута гіроскопічним теодолітом / Б.І. Денисюк, А. В. Донченко, Н. С. Шудра // Інженерна геодезія. – 2005. – № 51. – С. 77 – 85.

4. *Каргу Л.Н.* Измерительные устройства летательных аппаратов / Л.Н. Каргу. – М.: Машиностроение, 1988. – 256 с.

5. *Ковтун В.* Гироскопическое оборудование – прошлое и настоящее / В. Ковтун и др. // Геопрофиль. – 2010. - №4 (13). – С. 34 – 40.

6. *Новая* геодезическая техника и ее применение в строительстве / под ред. В.Е. Дементьева. – М.: Высшая шк., 1982. –280 с.

7. *Репников А.В.* Гироскопические системы / А.В. Репников, Г.П. Сачков, А.И. Черноморский – М.: Машиностроение, 1983. – 319 с.

8. *Руководство* по астрономо-геодезическим работам при топогеодезическом обеспечении войск Ч. 3. Гироскопическое ориентирование. – М.: ВТУГШ СССР, 1979. – 224 с.

9. *Скурихин В.И.* Математическое моделирование / В.И. Скурихин, В.Б. Шифрин, В.В. Дубровский. – К.: Техника, 1983. – 270 с.

10. *Справочник* геодезиста: в 2-х кн. Кн. 1/ под ред. В.Д. Большакова и Г.П. Левчука. – 3 –е изд. – М.: Недра, 1985. – 455 с.

11. *Торочков В.Ю.* Гиротеодолиты / В.Ю. Торочков. – М.: Недра, 1970. – 136 с.

REFERENCES

1. Borovyi V. O., Burachek V. H. & Ditiuk-Snisarenko P. S. (2005). Ukrainski hiroteodolity ta etapy yikh rozvytku [Ukrainian Theodolite and stages of development]. *Inzhenerna heodeziia – Engeneering geodesy*, 51, 33-45 [in Ukrainian].

2. Hladilin V. M. (2015). Mozhlyvist vyznachennia shyroty i poliarnoho stysnennia hiroskopichnym teodolitom The ability to determine the latitude and polar compression gyro theodolite]. *Visnyk astronomichnoi shkoly* – Bulletin astronomical school 1, 69 – 74 [in Ukrainian].

3. Denysiuk B. I., Donchenko A. V. & Shudra N. S. (2005). Do pytannia avtomatyzatsii protsesu vyznachennia azymuta hiroskopichnym teodolitom [On the issue of automating the process of determining azimuth gyro theodolite]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 51, 77-85 [in Ukrainian].

4. Karhu L.N. (1988) Izmeritelnyie ustroystva letatelnyih apparatov [Measuring devices of aircraft] – Moscow: Mashinostroenie [in Russian].

5. Kovtun V., Kheher V., Trevoho Y. & Chaplynskaia L. (2010). Hyroskopycheskoe oborudovanye – proshloe y nastoiashchee [Gyroscopic equipment – proshloe and present]. *Heoprofyl* – 4(13), 34 – 40 [in Ukrainian].

6. Dementeva V.E. (Eds.). (1982) Novaia heodezycheskaia tekhnyka y ee prymenenye v stroytelstve [New geodetic technique and its application in construction]. Moscow: Vyisshaya shkola [in Russian].

7. Repnykov A.V., Sachkov H.P. & Chernomorskyi A.Y. (1983). *Hiroskopicheskie sistemyi* [Gyro system]. Moscow: Mashynostroenye [in Russian].

8. Rukovodstvo po astronomo – heodezycheskym rabotam pry topoheodezycheskom obespechenyy voisk ch. 3. Hyroskopycheskoe oryentyrovanye (1979) [Guide astronomical. Geodetic works at the survey support the troops part 3. gyroscopic orientation]. – M.: VTUHSh SSSR/

9. Skurykhyn V.Y., Shyfryn V.B., Dubrovskyi V.V. Matematycheskoe modelyrovanye [Math modeling]. – K.: Tekhnyka, 1983.-270 s.

10. V.D. Bolshakova & H.P. Levchuka (Eds.) (1985) Spravochnyk heodezysta: v 2-kh knyhakh. Kn. 1[Directory surveyor]. – M.: Nedra. [in Russian].

11. Torochkov V.Yu. (1970) Hiroteodolityi Giroteodolity]. – Moscow: Nedra [in Russian].

В. Н. Гладилин,
Н. С. Шудра,
П.А. Чуланов

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ ТОЧЕК РЕВЕРСИИ ПРИ ГИРОСКОПИЧЕСКОМ ОРИЕНТИРОВАНИИ

Наблюдение точек реверсии оси гиромотора гиротеодолита в горизонтальной плоскости дает возможность определить направление геодезического меридиана. Для повышения точности определения геодезического азимута предлагается установить модель слабозатухающих колебаний гиромотора и использовать её для определения геодезического азимута. Измерение колебаний оси гиромотора в вертикальной плоскости дает возможность определить широту места установки гиротеодолита. Траектория движения оси гиромотора имеет вид эллиптического конуса. Фазовая проекция траектории движения на плоскости имеет вид элиптической спирали, аппроксимируемой логарифмической спиралью, отношение полуосей которой определяет полярное сжатие Земли, совпадающее с общеземным WGS – 84 или ПЗ – 90.

Ключевые слова: *модель точек реверсии, гиротеодолит, широта.*

V. N. Gladilin,
N. S. Shudra,
P.A. Chulanov

MODELLING OBSERVATION OF REVERSION POINTS DURING GYROSCOPIC ORIENTATION

Measuring of oscillation of axis of gyro motor of gyrotheodolite in a horizontal plane gives an opportunity to define direction of geodesic meridian. For the increase of exactness of determination of geodesic azimuth it is suggested to set analytical dependence of the damped vibrations of gyro motor and counting out of the observant system to impose on this chart. For reduction of time of measuring it is necessary to program the model of oscillations of gyroscope, define her parameters and use them for determination of geodesic azimuth. Measuring of oscillations of axis of gyro motor of gyrotheodolite in a vertical plane gives an opportunity to define the breadth of place of setting of gyrotheodolite. The phase trajectory of the movement axis of the machine tool components and assemblies has a spiral appearance, which is well approximated by a logarithmic spiral, the ratio of the semi axes of which allows to determine the polar flattening of the Earth in digital form coincides with the common earthly WGS–84,PZ – 90.

Keywords: *the model points reverse, the gyrotheodolite, the latitude.*

Надійшла до редакції 01.12.2016

УДК 528.48

А.М. Хайлак, *аспірант*
Київський національний університет будівництва і архітектури

ЗАСТОСУВАННЯ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЗОН РІВНОМІРНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ПРОТИЗСУВНИХ СПОРУД

У роботі наведено результати експериментальних досліджень горизонтальних переміщень протизсувних споруд. На прикладі результатів геодезичного моніторингу за переміщеннями протизсувної споруди досліджено ефективність застосування кластерного аналізу для визначення зон рівномірних переміщень. Викладено основи кластерного аналізу та алгоритм кластеризації. Наведено основні, найбільш ефективні методи кластеризації. Досліджено різні методи кластеризації за матеріалами геодезичного моніторингу підпірної стінки у м. Києві. В рамках кожного методу перевірено ефективність застосування різних методів визначення відстаней або мір схожості об'єктів. Для якісного аналізу до кожного з критеріїв в межах різних методів кластеризаці побудовано дендрограми. В результаті аналізу для розгляданого об'єкта найбільш ефективними методами кластеризації визначено метод зв'язку віддалених точок та метод центроїдного зв'язку. Виявлено, що для кожного з цих методів результати кластеризації за різними мірами схожості є практично однаковими.

Ключові слова: *зсув, кластерний аналіз, методи кластеризації, міра схожості, горизонтальні переміщення, дендрограма.*

Вступ. Під час геодезичного моніторингу за будь-якими типами споруд або об'єктами досить часто виникає потреба у визначенні зон рівномірних переміщень. Цілком зрозуміло, що для дослідження переміщень єдина модель може бути використана лише в разі рівномірного переміщення всього об'єкта. Проте саме такий випадок не є ані типовим, ані таким, що спричинює значні руйнування інженерних споруд. Загалом відомо, що саме нерівномірні переміщення є найбільш небезпечними і найбільш поширеними. При цьому нерівномірність досить рідко має лінійний характер або виявляє певну закономірність. Найчастіше характер деформаційного процесу залежить від геологічної будови основи. У такому випадку вектори переміщень елементів споруди можуть мати в різних частинах різні напрямки, відрізнятися за величиною та мати циклічний характер. За таких умов на етапі побудови моделі прогнозування переміщень важливо визначити зони, у межах яких переміщення відбуваються за одним законом і до яких може бути застосована модель прогнозування з однаковими параметрами. У спостереженнях за зсувами, які завжди мають неоднорідно будову, визначення зон рівномірних переміщень є особливо актуальним [8; 11]. Поділ поверхні зсуву на зони дає можливість визначити зону зсуву та зону найбільш інтенсивного переміщення. Під час спостереженнь за протизсувними спорудами завдяки такому аналізу можна виявити ділянки споруди, що потребують першочергового підсилення [3].

© А. М. Хайлак, 2016