

УДК 528.72/73

## **ВИЗНАЧЕННЯ АПРІОРНОЇ ТОЧНОСТІ ПЛАНОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВНУТРІШНЬОГО ОРІЄНТУВАННЯ ЦИФРОВОЇ КАМЕРИ Canon EOS 350D**

В. Глотов, О. Пашетник  
Національний університет “Львівська політехніка”

### **Постановка проблеми**

Застосування неметричних цифрових знімальних камер під час виконання короткобазисного стереофотограмметричного знімання, дають змогу одержати зображення для визначення координат точок об'єктів, що підлягають дослідженню [2]. Однак цю знімальну техніку не розробляли виробники для застосування у фотограмметричному виробництві, тим більше, в медичних технологіях і, у зв'язку із цим, має деякі недоліки. Розв'язання низки задач (вплив похибок елементів внутрішнього та зовнішнього орієнтування, дисторсійних спотворень) дасть змогу значно підвищити точність визначення координат об'єктів, що досліджуються, та спростити технологію знімання [3].

### **Зв'язок із важливими науковими й практичними завданнями**

Вирішення проблеми точності та метричності цифрових знімальних систем, які застосовують для короткобазисного знімання істотно розширить діапазон застосування стереофотограмметричного методу в різних галузях науки і техніки (під час локальних архітектурних обмірюваннях, у медицині тощо).

### **Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених розв'язанню цієї проблеми**

Питанням калібрування неметричних камер та їх дослідження присвячується велика кількість наукових праць. Згадаємо деякі з них. У роботі [8] виконано серію експериментів та запропоновано нову методику калібрування камер, у результаті чого проаналізована та здійснена оцінка елементів внутрішнього орієнтування цифрової камери Rollei D30.

У публікації [6] подаються результати дослідження цифрової камери Canon EOS 300D та можливості використання програмного забезпечення AeroSys Consulting, що використовувалось для її калібрування. Насамперед, автори визначали елементи внутрішнього орієнтування та параметри калібрування камери через модульне пряме лінійне перетворення. Цю методику застосовували також у дослідженнях, описаних у роботі [7].

У праці [5] подано результати оцінки цифрової неметричної камери Canon D30 SLR, яку використовували для знімання історичних об'єктів в археології та архітектурі. Внутрішня геометрія камери була досліджена за допомогою однорідного калібрування з використанням відповідного програмного забезпечення. Дослідження показали, що похибки в межах 5–10 мм можуть допускатися під час знімання об'єктів на відстані до 15 м.

### **Невирішені частини загальної проблеми**

Актуальною залишається проблема підвищення точності визначення координат точок об'єктів під час знімання неметричними цифровими камерами.

### **Постановка завдання**

Визначити апріорну точність елементів внутрішнього орієнтування для цифрової неметричної камери Canon EOS 350D та проаналізувати отримані значення.

### **Виклад основного матеріалу**

Розрахунок необхідної точності обчислення елементів внутрішнього орієнтування виконаний, враховуючи формулу, що встановлюють зв'язок між координатами точок об'єкта, який підлягає дослідженню, і їх зображенням [4]. Позаяк, йдеться про високоточні вимірювання, а також

короткобазисне знімання, необхідно розглядати загальний випадок без будь-яких спрощень. З цією метою скористаємося формулами

$$\left. \begin{aligned} X_{\phi} &= Y_{\phi} \frac{a_1(x-x_0) + a_2f + a_3(z-z_0)}{b_1(x-x_0) + b_2f + b_3(z-z_0)} \\ Z_{\phi} &= Y_{\phi} \frac{c_1(x-x_0) + c_2f + c_3(z-z_0)}{b_1(x-x_0) + b_2f + b_3(z-z_0)} \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

де  $Y_{\phi}$  – відстань до об'єкта знімання;  $x, z$  – абсциса та апліката координат на матриці цифрової камери;  $f = 53\text{мм}$  – фокусна віддаль цифрової камери Canon EOS 350D;  $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2, c_3$  – напрямні косинуси.

Визначивши з першої формули системи (1)  $x_0$ , отримаємо

$$x_0 = x - f \frac{(b_2c_3 - b_3c_2)X_{\phi} + (c_2a_3 - c_3a_2)Y_{\phi} + (a_2b_3 - a_3b_2)Z_{\phi}}{(b_1c_3 - b_3c_1)X_{\phi} + (c_1a_3 - c_3a_1)Y_{\phi} + (a_1b_3 - a_3b_1)Z_{\phi}}, \quad (2)$$

Для формули середньої квадратичної похибки  $m_{x_0}$  обчислимо часткові похідні

$$\begin{aligned} \frac{\partial x_0}{\partial x} &= 1, \\ \frac{\partial x_0}{\partial z} &= 0, \\ \frac{\partial x_0}{\partial X_{\phi}} &= \frac{f((a_1b_2c_3 + a_2b_3c_1 + a_3b_1c_2 - a_1b_3c_2 - a_2b_1c_3 - a_3b_2c_1)(-c_3Y_{\phi} + b_3Z_{\phi}))}{((b_1c_3 - b_3c_1)X_{\phi} + (c_1a_3 - c_3a_1)Y_{\phi} + (a_1b_3 - a_3b_1)Z_{\phi})^2}, \\ \frac{\partial x_0}{\partial Y_{\phi}} &= \frac{f((a_1b_2c_3 + a_2b_3c_1 + a_3b_1c_2 - a_1b_3c_2 - a_2b_1c_3 - a_3b_2c_1)(c_3X_{\phi} - a_3Z_{\phi}))}{((b_1c_3 - b_3c_1)X_{\phi} + (c_1a_3 - c_3a_1)Y_{\phi} + (a_1b_3 - a_3b_1)Z_{\phi})^2}, \\ \frac{\partial x_0}{\partial Z_{\phi}} &= \frac{f((a_1b_2c_3 + a_2b_3c_1 + a_3b_1c_2 - a_1b_3c_2 - a_2b_1c_3 - a_3b_2c_1)(-b_3X_{\phi} + a_3Y_{\phi}))}{((b_1c_3 - b_3c_1)X_{\phi} + (c_1a_3 - c_3a_1)Y_{\phi} + (a_1b_3 - a_3b_1)Z_{\phi})^2}, \\ \frac{\partial x_0}{\partial \alpha} &= \frac{\partial x_0}{\partial \alpha_1} \frac{\partial \alpha_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial x_0}{\partial \alpha_2} \frac{\partial \alpha_2}{\partial \alpha} + \frac{\partial x_0}{\partial \alpha_3} \frac{\partial \alpha_3}{\partial \alpha} + \frac{\partial x_0}{\partial b_1} \frac{\partial b_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial x_0}{\partial b_2} \frac{\partial b_2}{\partial \alpha} + \frac{\partial x_0}{\partial b_3} \frac{\partial b_3}{\partial \alpha} + \frac{\partial x_0}{\partial c_1} \frac{\partial c_1}{\partial \alpha} + \frac{\partial x_0}{\partial c_2} \frac{\partial c_2}{\partial \alpha} + \frac{\partial x_0}{\partial c_3} \frac{\partial c_3}{\partial \alpha}, \\ \frac{\partial x_0}{\partial \omega} &= \frac{\partial x_0}{\partial \alpha_1} \frac{\partial \alpha_1}{\partial \omega} + \frac{\partial x_0}{\partial \alpha_2} \frac{\partial \alpha_2}{\partial \omega} + \frac{\partial x_0}{\partial \alpha_3} \frac{\partial \alpha_3}{\partial \omega} + \frac{\partial x_0}{\partial b_1} \frac{\partial b_1}{\partial \omega} + \frac{\partial x_0}{\partial b_2} \frac{\partial b_2}{\partial \omega} + \frac{\partial x_0}{\partial b_3} \frac{\partial b_3}{\partial \omega} + \frac{\partial x_0}{\partial c_1} \frac{\partial c_1}{\partial \omega} + \frac{\partial x_0}{\partial c_2} \frac{\partial c_2}{\partial \omega} + \frac{\partial x_0}{\partial c_3} \frac{\partial c_3}{\partial \omega}, \\ \frac{\partial x_0}{\partial \chi} &= \frac{\partial x_0}{\partial \alpha_1} \frac{\partial \alpha_1}{\partial \chi} + \frac{\partial x_0}{\partial \alpha_2} \frac{\partial \alpha_2}{\partial \chi} + \frac{\partial x_0}{\partial \alpha_3} \frac{\partial \alpha_3}{\partial \chi} + \frac{\partial x_0}{\partial b_1} \frac{\partial b_1}{\partial \chi} + \frac{\partial x_0}{\partial b_2} \frac{\partial b_2}{\partial \chi} + \frac{\partial x_0}{\partial b_3} \frac{\partial b_3}{\partial \chi} + \frac{\partial x_0}{\partial c_1} \frac{\partial c_1}{\partial \chi} + \frac{\partial x_0}{\partial c_2} \frac{\partial c_2}{\partial \chi} + \frac{\partial x_0}{\partial c_3} \frac{\partial c_3}{\partial \chi}. \end{aligned} \quad (3)$$

Знайдемо проміжні похідні в останніх двох формулах (3)

$$\begin{aligned} \frac{\partial x_0}{\partial a_1} &= \frac{f((b_2c_3 - b_3c_2)X_{\phi} + (c_2a_3 - c_3a_2)Y_{\phi} + (a_2b_3 - a_3b_2)Z_{\phi})(-b_3Z_{\phi} + c_3Y_{\phi})}{((b_1c_3 - b_3c_1)X_{\phi} + (c_1a_3 - c_3a_1)Y_{\phi} + (a_1b_3 - a_3b_1)Z_{\phi})^2}, \\ \frac{\partial x_0}{\partial a_2} &= \frac{f(-b_3Z_{\phi} + c_3Y_{\phi})}{(b_1c_3 - b_3c_1)X_{\phi} + (c_1a_3 - c_3a_1)Y_{\phi} + (a_1b_3 - a_3b_1)Z_{\phi}}, \\ \frac{\partial x_0}{\partial a_3} &= \frac{f((b_1c_2 - b_2c_1)X_{\phi} + (c_1a_2 - c_2a_1)Y_{\phi} + (a_1b_2 - a_2b_1)Z_{\phi})(-b_3Z_{\phi} + c_3Y_{\phi})}{((b_1c_3 - b_3c_1)X_{\phi} + (c_1a_3 - c_3a_1)Y_{\phi} + (a_1b_3 - a_3b_1)Z_{\phi})^2}, \\ \frac{\partial x_0}{\partial b_1} &= \frac{f((b_2c_3 - b_3c_2)X_{\phi} + (c_2a_3 - c_3a_2)Y_{\phi} + (a_2b_3 - a_3b_2)Z_{\phi})(-c_3X_{\phi} + a_3Z_{\phi})}{((b_1c_3 - b_3c_1)X_{\phi} + (c_1a_3 - c_3a_1)Y_{\phi} + (a_1b_3 - a_3b_1)Z_{\phi})^2}, \\ \frac{\partial x_0}{\partial b_2} &= \frac{f(c_3X_{\phi} - a_3Z_{\phi})}{(b_1c_3 - b_3c_1)X_{\phi} + (c_1a_3 - c_3a_1)Y_{\phi} + (a_1b_3 - a_3b_1)Z_{\phi}}, \\ \frac{\partial x_0}{\partial b_3} &= \frac{f((b_1c_2 - b_2c_1)X_{\phi} + (c_1a_2 - c_2a_1)Y_{\phi} + (a_1b_2 - a_2b_1)Z_{\phi})(-c_3X_{\phi} + a_3Z_{\phi})}{((b_1c_3 - b_3c_1)X_{\phi} + (c_1a_3 - c_3a_1)Y_{\phi} + (a_1b_3 - a_3b_1)Z_{\phi})^2}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\frac{\partial x_0}{\partial c_1} = \frac{f((b_2c_3 - b_3c_2)X_\phi + (c_2a_3 - c_3a_2)Y_\phi + (a_2b_3 - a_3b_2)Z_\phi)(b_3X_\phi - a_3Y_\phi)}{((b_1c_3 - b_3c_1)X_\phi + (c_1a_3 - c_3a_1)Y_\phi + (a_1b_3 - a_3b_1)Z_\phi)^2},$$

$$\frac{\partial x_0}{\partial c_2} = \frac{f(-b_3X_\phi + a_3Y_\phi)}{(b_1c_3 - b_3c_1)X_\phi + (c_1a_3 - c_3a_1)Y_\phi + (a_1b_3 - a_3b_1)Z_\phi},$$

$$\frac{\partial x_0}{\partial c_3} = \frac{f((b_1c_2 - b_2c_1)X_\phi + (c_1a_2 - c_2a_1)Y_\phi + (a_1b_2 - a_2b_1)Z_\phi)(b_3X_\phi - a_3Y_\phi)}{((b_1c_3 - b_3c_1)X_\phi + (c_1a_3 - c_3a_1)Y_\phi + (a_1b_3 - a_3b_1)Z_\phi)^2}.$$

Визначимо також похідні для  $\frac{\partial a_1}{\partial \alpha}, \frac{\partial a_2}{\partial \alpha}, \frac{\partial a_3}{\partial \alpha}, \frac{\partial b_1}{\partial \alpha}, \frac{\partial b_2}{\partial \alpha}, \frac{\partial b_3}{\partial \alpha}, \frac{\partial c_1}{\partial \alpha}, \frac{\partial c_2}{\partial \alpha}, \frac{\partial c_3}{\partial \alpha}, \frac{\partial a_1}{\partial \chi}, \frac{\partial a_2}{\partial \chi}, \frac{\partial a_3}{\partial \chi}, \frac{\partial b_1}{\partial \chi}, \frac{\partial b_2}{\partial \chi}, \frac{\partial b_3}{\partial \chi}, \frac{\partial c_1}{\partial \chi}, \frac{\partial c_2}{\partial \chi}, \frac{\partial c_3}{\partial \chi}, \frac{\partial a_1}{\partial \omega}, \frac{\partial a_2}{\partial \omega}, \frac{\partial a_3}{\partial \omega}, \frac{\partial b_1}{\partial \omega}, \frac{\partial b_2}{\partial \omega}, \frac{\partial b_3}{\partial \omega}, \frac{\partial c_1}{\partial \omega}, \frac{\partial c_2}{\partial \omega}, \frac{\partial c_3}{\partial \omega}$ .

Ураховуючи значення похідних, отримаємо середню квадратичну похибку планових елементів внутрішнього орієнтування  $m_{x_0}$ :

$$m_{x_0}^2 = \left(\frac{\partial x_0}{\partial x}\right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\partial x_0}{\partial z}\right)^2 m_z^2 + \left(\frac{\partial x_0}{\partial X_\phi}\right)^2 m_{X_\phi}^2 + \left(\frac{\partial x_0}{\partial Y_\phi}\right)^2 m_{Y_\phi}^2 + \left(\frac{\partial x_0}{\partial Z_\phi}\right)^2 m_{Z_\phi}^2 + \left(\frac{\partial x_0}{\partial \alpha}\right)^2 m_\alpha^2 + \left(\frac{\partial x_0}{\partial \chi}\right)^2 m_\chi^2 + \left(\frac{\partial x_0}{\partial \omega}\right)^2 m_\omega^2. \quad (5)$$

Перейдемо до визначення  $m_{z_0}$  через друге рівняння формул (1). Звідки:

$$z_0 = z - f \frac{(b_1c_2 - b_2c_1)X_\phi + (c_1a_2 - c_2a_1)Y_\phi + (a_1b_2 - a_2b_1)Z_\phi}{(b_1c_3 - b_3c_1)X_\phi + (c_1a_3 - c_3a_1)Y_\phi + (a_1b_3 - a_3b_1)Z_\phi}. \quad (6)$$

За аналогією з попередніми викладеннями для  $m_{x_0}$ , знайдемо часткові похідні для  $\frac{\partial z_0}{\partial x}, \frac{\partial z_0}{\partial z}, \frac{\partial z_0}{\partial X_\phi}, \frac{\partial z_0}{\partial Y_\phi}, \frac{\partial z_0}{\partial Z_\phi}, \frac{\partial z_0}{\partial \alpha}, \frac{\partial z_0}{\partial \omega}, \frac{\partial z_0}{\partial \chi}$ . Ураховуючи ці значення похідних, отримаємо похибку  $m_{z_0}$ :

$$m_{z_0}^2 = \left(\frac{\partial z_0}{\partial x}\right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\partial z_0}{\partial z}\right)^2 m_z^2 + \left(\frac{\partial z_0}{\partial X_\phi}\right)^2 m_{X_\phi}^2 + \left(\frac{\partial z_0}{\partial Y_\phi}\right)^2 m_{Y_\phi}^2 + \left(\frac{\partial z_0}{\partial Z_\phi}\right)^2 m_{Z_\phi}^2 + \left(\frac{\partial z_0}{\partial \alpha}\right)^2 m_\alpha^2 + \left(\frac{\partial z_0}{\partial \chi}\right)^2 m_\chi^2 + \left(\frac{\partial z_0}{\partial \omega}\right)^2 m_\omega^2. \quad (7)$$

Підрахуємо за формулами (5), (7) значення середніх квадратичних похибок планових елементів внутрішнього орієнтування цифрової камери Canon EOS 350D  $m_{x_0}$  і  $m_{z_0}$ . Допустимі середні квадратичні похибки куткових елементів зовнішнього орієнтування становлять 3" [1];  $x_{max} = 10\text{мм}, z_{max} = 7\text{мм}$ , (для розміру ПЗЗ-матриці 22,2x14,8 мм),  $m_{x_1} = m_{z_1} = 0,005\text{мм}$  (точність виміру кеоординат на ЦФС). Обрахунки виконаємо при різних значеннях координат  $X_\phi, Y_\phi$  за формулами (1) для  $x_0 = z_0 = 0,1; 0,3; 0,5; 0,7; 0,9\text{мм}$  та відстані до об'єкта знімання  $Y_\phi$  ( $Y_\phi = 1\text{м}; 1,5\text{м}; 2\text{м}; 2,5\text{м}; 3\text{м}$ ).

Розрахунок середніх квадратичних похибок планових елементів внутрішнього орієнтування для нормального випадку знімання ( $\alpha = \omega = \chi = 0^\circ$ ) та для планового ( $\alpha = \omega = \chi = 3^\circ$ , знімання "з руки") наведено в таблиці, а на рисунку зображені відповідні графічні залежності вищезазначених величин.

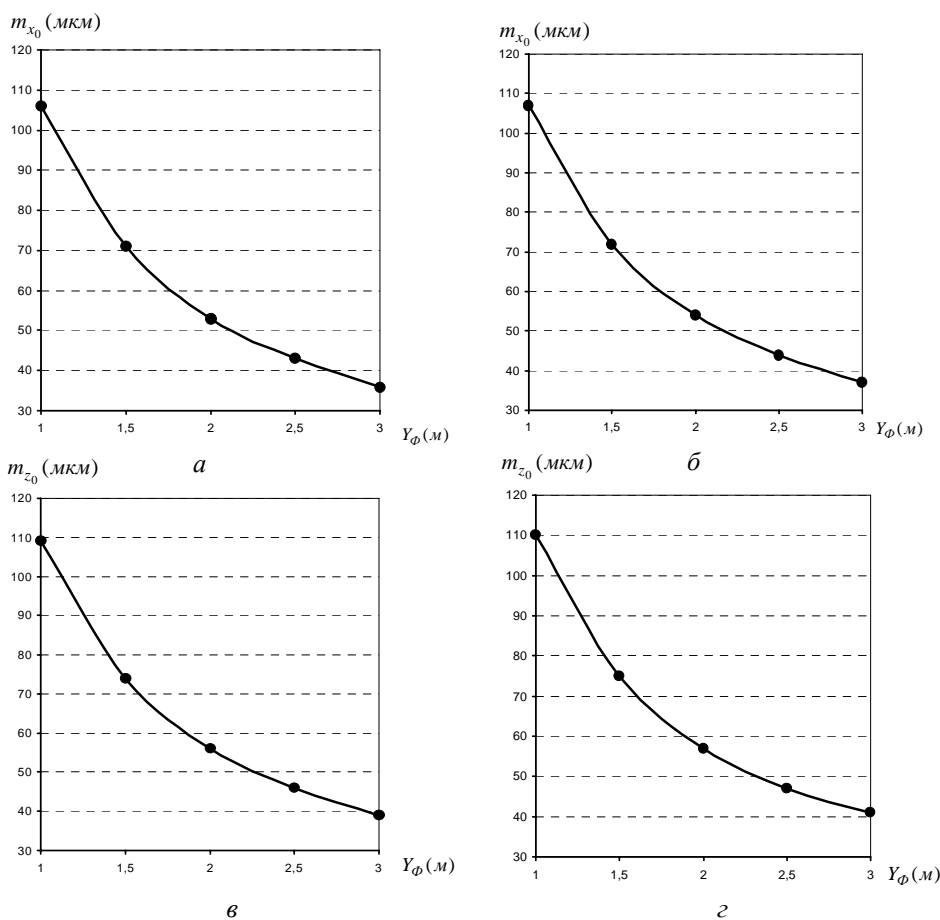
## Висновки

1. Априорне оцінювання точності визначення планових координат елементів внутрішнього орієнтування цифрових неметричних камер, які застосовуються у короткобазисній фотограмметрії, дало

можливість встановити відповідні допуски та вимоги щодо подальшої можливості впровадження знімальної апаратури та розроблення технологічних схем знімання та опрацювання цифрових зображень.

**Значення середніх квадратичних похибок планових елементів внутрішнього орієнтування  
(значення дано в мм)**

$Y_{\phi} (м)$	$m_{x_0}$		$m_{z_0}$	
	$\alpha = \omega = \chi = 0^{\circ}$	$\alpha = \omega = \chi = 3^{\circ}$	$\alpha = \omega = \chi = 0^{\circ}$	$\alpha = \omega = \chi = 3^{\circ}$
<b>1</b>	0,106	0,107	0,109	0,110
<b>1,5</b>	0,071	0,072	0,074	0,075
<b>2</b>	0,053	0,054	0,056	0,057
<b>2,5</b>	0,043	0,044	0,046	0,047
<b>3</b>	0,036	0,037	0,039	0,041



Графіки значень середніх квадратичних похибок планових елементів внутрішнього орієнтування:

(а), (б) – при  $m_{x_0}, m_{z_0} (\alpha = \omega = \chi = 0^{\circ})$ ; (в), (г) – при  $m_{x_0}, m_{z_0} (\alpha = \omega = \chi = 3^{\circ})$

2. Аналізуючи значення, які наведені у таблиці, необхідно зробити висновки, що точність, з якою необхідно визначати планові елементи орієнтування, практично тотожна. Це пояснюється тим, що розміри ПЗЗ-матриці невеликі, а відтак похибки елементів не перевищують 0,01.

3. Залежність зміни похибок елементів від відстані має у першому наближенні гіперболічну залежність, причому зі збільшенням відстані від об'єкта точність визначення елементів повинна зростати.

4. Важливим висновком є те, що похибки елементів для ідеального випадку знімання практично не відрізняються від похибок у разі планового випадку. Це дає змогу стверджувати, що знімання цифровими камерами можна робити “з руки” без використання додаткових орієнтирних пристроїв.

5. Надалі планується визначити апріорну точність визначення фокусної віддалі цифрових камер та елементів зовнішнього орієнтування і на підставі цих досліджень розробити технологічну схему високоточного визначення координат точок об'єктів у короткобазисній фотограмметрії.

### Література

1. Глотов В.М., Майоров Г.Є. Аналіз метричних властивостей цифрових знімальних систем // Міжвідомч. наук.-техн. збірн. "Геодезія картографія і аерофотознімання". – Львів, 2000. – № 60. – С. 102–106.
2. Глотов В., Пащетник О. Аналіз застосування стереофотограмметричного методу для виявлення зовнішніх ознак у клінічній медицині // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: Зб. наук. пр. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2007. – Випуск II (14). – С. 129–135.
3. Глотов В., Пащетник О. Аналіз впливу похибок елементів внутрішнього орієнтування при короткобазисному стереофотограмметричному зніманні // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: Зб. наук. пр. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2008. – Випуск II (16). – С. 117–122.
4. Лобанов А.Н. Фототопографія. Наземная стереофотограмметрическая съемка. – М.: Недра, 1968. – 268 с.
5. Cardenala J., Mataa E., Castroa P., Delgadoa J. and other. Evaluation of a digital non metric camera (canon d30) for the photogrammetric recording of historical buildings // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences: XXXV congress ISPRS. – Istanbul, 2004. – Comm. 5. – P. 564–569.
6. Kwoczyńska B. Application of aerosys software are to calibration of digital camera Canon EOS 300D // Геодезія, картографія і аерофотознімання: наук.-техн. зб. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 2007. – Випуск 68. – С. 235–239.
7. Tao J., Zhai R., Zhang Z., Zhang J. Calibration of a projector with a planar gird // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences: XXXV congress ISPRS. – Istanbul, 2004. – Comm. 5. – P. 88–92.
8. Xie W., Zhang Z., Zhang J. Multi-image based camera calibration without control points // The international archives of the remote sensing and spatial information sciences: XXXV congress ISPRS. – Istanbul, 2004. – Comm. 5. – P. 36–41.

#### **Визначення апріорної точності планових елементів внутрішнього орієнтування цифрової камери Canon EOS 350D**

В. Глотов, О. Пащетник

Наведено робочі формули апріорної оцінки точності планових елементів внутрішнього орієнтування для цифрової неметричної камери Canon EOS 350D. Зроблені відповідні висновки із метою підвищення точності координат точок об'єктів, що досліджуються.

#### **Определение априорной точности плановых элементов внутреннего ориентирования цифровой камеры Canon EOS 350D**

В. Глотов, О. Пащетник

Приведены рабочие формулы априорной оценки точности плановых элементов внутреннего ориентирования для цифровой неметрической камеры Canon EOS 350D. Сделаны соответствующие выводы с целью повышения точности координат точек исследуемых объектов.

#### **Determination of a priori accuracy of the planned elements of internal orientation of digital camera Canon EOS 350D**

V. Glotov, O. Pashchetnyk

Analysis of a priori accuracy of the planned elements of internal orientation for digital non metric camera Canon EOS 350D is conducted in the article. The proper conclusions that are made are aimed at increasing of objects points accuracy, which are under research.