

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАПРОПОНОВАНИХ СПОСОБІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ВНУТРІШНЬОГО ОРІЄНТУВАННЯ ЦИФРОВИХ НЕМЕТРИЧНИХ ЗНІМАЛЬНИХ КАМЕР

© Пашетник О., 2011

*Приведены результаты исследования способов определения элементов внутреннего ориентирования  $x_0$ ,  $z_0$ , фокусного расстояния и эквивалентного фокусного расстояния вариообъектива цифровых неметрических камер. Акцентируется внимание на унифицированности средств, применяемых для реализации способов.*

*The peculiarities results of necessary of determination of elements of internal orientation  $x_0$ ,  $z_0$ , of focal distance and of equivalent focal distance varyoobject-glass of the digital nonmetric camera's. The attention is stressed on standartization of facilities which are used for realization of methods.*

**Постановка проблеми.** Процес впровадження цифрових неметричних професійних і напів-професійних знімальних камер у наземне цифрове знімання є сьогодні достатньо поширеним, оскільки у сучасній фотограмметрії часто використовують цифрові методи для опрацювання зображень, отриманих завдяки зніманню більш доступним цифровим обладнанням. Однак, поява неметричних камер виявила не тільки багато спрощень у всіх видах робіт, але і немало проблем, що вимагають розв'язання. Однією з таких проблем є розроблення способів визначення елементів внутрішнього орієнтування цифрових знімальних камер, оскільки їх значення істотно впливає на точність визначення координат точок об'єктів, що підлягають дослідженню [4].

**Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями.** Запропоновані способи [7–9] можна використати для визначення елементів внутрішнього орієнтування  $x_0$ ,  $z_0$ , фокусної віддалі та еквівалентної фокусної віддалі вариооб'єктива цифрової неметричної камери, за рахунок чого підвищити точність визначення координат об'єктів, що підлягають зніманню, та розширити діапазон застосування стереофотограмметричного методу у короткобазисній фотограмметрії у різних галузях науки і техніки (в архітектурних обмірах, медицині, військовій справі тощо).

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, присвячених розв'язанню цієї проблеми.** Питання дослідження та аналізу способів визначення елементів внутрішнього орієнтування цифрових неметричних знімальних камер висвітлено авторами у ряді праць. Розглянемо деякі з них.

У статті [12] розглянуто результати досліджень неметричних цифрових камер (Canon 350-D зі змінними об'єктивами з фокусною віддаллю  $f = 100$  мм, 28мм, 24мм): дослідження дисторсії об'єктива та координат оптичного центра на матриці; дослідження фокусної віддалі об'єктива методом вимірювань на матриці; дослідження розрізнявальної здатності фотокамери на краю поля фотографічного зображення. З цією метою у Національному науковому центрі “Інститут метрології” (м. Харків) було розроблено спеціальний оптичний стенд. Дисторсії об'єктивів, їхні фокусні віддалі та координати оптичних центрів на матриці фотокамер досліджували одночасно на оптичній лаві завдовжки до 12 м. Для встановлення та юстування фотокамер та еталонних сіток координат лаву оснащено двома додатковими пристроями, які кріпилися на рухомих каретках. Метрологічні характеристики перевірялися фотографуванням еталонних сіток координат з подальшою обробкою файлів фотографічних зображень за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення. Слід зауважити, що незважаючи на високу точність, одержану авторами в

результаті експериментальних досліджень, цей спосіб достатньо тривалий і вимагає необхідної витрати часу для процесу дослідження об'єктів.

Автори публікації [14] провели калібрування камери з використанням 3D тестового полігону на основі обробки 10 зображень, отриманих цифровою камерою Leica Digilux 1. Фокусну віддалі встановлювали на мінімум (широкий кут), а мережа містила чотири зображення з кутами повороту  $\pm 90$  градусів. Для калібрування було використано такі засоби програмного забезпечення (алгоритми): Photomodeler, Australis, Heikkila, Zhang і SGAP, які показали сильну залежність між параметрами зовнішнього і внутрішнього орієнтування. Отримані похибки на точках знаходились у межах між 0,57 і 0,63 мікрон та не залежали від розташування точки знімання (мережа (без повороту зображень) могла мати будь-яку точку знімання). До переваг цього способу калібрування, дослідженого в праці [14], належать: запропонований тест-об'єкт достатньо простий у виготовленні; виготовлення тест-об'єкта є не дуже дорогим порівняно з підготовкою просторового тест-об'єкта з використанням геодезичних методів; кількість вимірювань на кожному отриманому в результаті знімання зображенні невелика, при цьому число опорних точок може бути необмеженим.

У праці [13] теоретично обґрунтовано метод конструктивного калібрування цифрової камери, що дало авторам дослідження змогу визначити положення центра проекції знімка в наземному зніманні, позаяк ідея цього методу ґрунтувалася на методі побудови мереж аналітичної фототріангуляції з використанням координат центрів знімання, отриманих методами супутникової навігації. Положення проекції автори фіксували за допомогою відбиваючої марки, яка жорстко кріпилася на корпусі камери Olympus E20P. Ефективність методу була обґрунтована завдяки тестовому полігону, який складався із 46 маркованих точок, що кріпилися на капітальній споруді (стіні). Взаємне положення точок в просторі було визначено з точністю 0,1мм. Досліджуваною камерою з декількох точок знімався полігон, при цьому паралельно, за допомогою електронного тахеометра, вимірювалось положення марки, що розташовувалась на знімальній камері. Для приведення координат точок знімання в єдину систему координат положення тахеометра визначалось оберненою фотограмметричною засічкою відносно декількох точок тестового полігону. Всі вимірювання по радіоканалу передавалися на комп'ютер, де on-line оброблялися за допомогою програмного комплексу ВІЗІР-3D. Результати досліджень [12] показали, що точка знімання розташовувалась практично під роз'ємністю спалаху камери, а не на передній поверхні об'єктива. За запропонованою методикою можна визначити параметри вектора, що пов'язував перехрестя відбиваючої марки з конструктивним центром проектування знімка, що, своєю чергою, дало змогу підвищити точність наземного стереознімання. До переваг цього методу також можна віднести те, що з використанням комплексу для обробки геодезичних вимірювань в режимі on-line можна уникнути грубих помилок, які відслідковуються та відбраковуються, і безпосередньо забезпечити фотограмметричну обробку знімків.

Для калібрування широкоформатних камер автор публікації [1] розробив спосіб польового калібрування на досліджуваному полігоні. Запропонований спосіб розв'язання задачі забезпечував повне калібрування знімальних камер різного формату при різній фокусній віддалі об'єктів по модельним знімкам плоского тест-об'єкта. Ідея способу ґрунтується на використанні пари різномасштабних знімків з виміряною різницею висот знімання. За цією методикою можна розраховувати параметри тест-об'єктів і калібрувальних полігонів (рівнинний полігон з використанням засобів супутникового позиціонування) та попередню точність результатів калібрування, які показали, що у разі використання одиничних знімків для визначення елементів внутрішнього орієнтування в умовах рівнинного полігона, надійні результати можна отримати за допомогою використання супутникових приймачів для визначення координат центра знімання. Недоліком такого рішення є необхідність контролю параметрів калібрування з використанням надлишкових знімків, оскільки точність визначення параметрів внутрішнього орієнтування залежатиме від точності визначення елементів зовнішнього орієнтування.

У публікації [2] описано алгоритм калібрування цифрових камер, заснованого на автоматичному вимірюванні за знімками координат центрів маркованих точок тест-об'єкта у вигляді окружностей. Для автоматичного визначення номерів маркованих точок автори запропонували циркулярний штриховий код. Для калібрування використовували знімки тест-об'єкта з нанесеними

на його поверхню мітками, отримані з відомих ракурсів і відстаней. Кодовані мітки мали спеціальну структуру, що дало змогу надійно сегментувати їх на цифровому зображенні і з високим ступенем достовірності визначити унікальний номер. При цьому форма як кодованих, так і простих міток забезпечувала автоматичне визначення координат їх центрів на зображенні з субпіксельною точністю. Просторові координати міток на тест-об'єкті вимірювалися з високою точністю за допомогою геодезичних приладів. Водночас, недоліком цього способу калібрування є те, що для досягнення такої точності в інших дослідженнях необхідно створити достатньо громіздкий тест-об'єкт з кодованими мітками, а це, своєю чергою, робить практично неможливим застосування запропонованого алгоритму в побутових умовах. Крім того, необхідно зазначити, що в запропонованому алгоритмі застосовуються спрощені формули для розрахунку, які однозначно впливатимуть на точність визначення величин.

У роботі [11] наведено результати експериментальних досліджень методу фотограмметричного калібрування камер за допомогою просторового тест-об'єкта, виконаних способом математичного моделювання процесу калібрування з використанням макетних знімків. У цих роботах дисторсію та елементи внутрішнього орієнтування камери за результатами вимірювань зображень опорних точок на цифрових знімках визначали на основі на сумісного розв'язання системи рівнянь колінеарності, які складалися для кожної вимірюваної на цифровому знімку точки тест-об'єкта та розв'язувалися за методом найменших квадратів. У результаті досліджень середня квадратична похибка вимірювання становила 0,15–0,40 пікселя. Як і в попередній роботі, недоліком способу є те, що його реалізація вимагає використання доволі громіздкого обладнання.

Аналізуючи наведені способи [1, 2, 11, 13, 14], також слід зауважити, що під час калібрування цифрових неметричних камер за плоским тест-об'єктом і просторовим полігоном опорних геодезичних мереж (тестовим полігоном), виникає необхідність у вимірюванні координат великої кількості маркованих точок у вигляді кола, марок, сітки квадратів тощо. Відповідно, якщо цей алгоритм не автоматизований, то процес калібрування займатиме багато часу. Хоча сьогодні існує достатня кількість алгоритмів та програм, які допомагають вирішити цю проблему, однак у цьому напрямку дослідження продовжуються, оскільки не усі запропоновані в працях алгоритми гарантують точність визначення координат маркованих точок. Основна проблема полягає в точному і надійному виділенні пікселів, що належать краям маркованої точки, на основі чого надалі визначають відповідні координати. Слід зауважити, що не в усіх розроблених алгоритмах точно виділені піксели, що лежать на прямих лініях або лініях другого порядку, які можна використувати для вимірювання при апроксимації дисторсії об'єктива знімальної камери. Вирішення цієї проблеми дозволило б значно збільшити кількість вимірювань, які задіяні в процесі калібрування камер, за рахунок чого підвищити точність визначення параметрів калібрування.

**Невирішені частини загальної проблеми.** Однією із частин проблеми, яку необхідно вирішити, є дослідження запропонованих способів визначення елементів внутрішнього орієнтування цифрових знімальних камер.

**Постановка завдання.** Дослідити запропоновані способи визначення елементів внутрішнього орієнтування цифрових неметричних знімальних камер та проаналізувати отримані результати дослідження з метою підвищення точності запропонованих способів.

**Виклад основного матеріалу.** Аналізуючи технологію запропонованих способів [7–9] з метою визначення точності одержання елементів внутрішнього орієнтування цифрових знімальних систем, розглянемо можливі похибки, які виникають під час їх технологічної реалізації:

**Спосіб визначення планових елементів внутрішнього орієнтування ( $x_0$ ,  $z_0$ ):**

- *Встановлення ПЗЗ-матриці у вертикальне положення*

Для максимального зменшення цієї похибки виконують нівелювання робочої поверхні підставки за допомогою накладного рівня, точність якого становить  $20''$ . Максимальні похибки, які впливатимуть на відхилення оптичної осі об'єктива, тобто неперпендикулярності ПЗЗ-матриці, спричиняються похибками відхилення кутів  $\alpha$  і нахилу  $\omega$  оптичної осі. Водночас, кут  $\chi$  на цю величину не впливатиме внаслідок обертання оптичної осі.

Накладним рівнем фактично усуваються тільки похибки кутів  $\omega$  і  $\chi$ . Стосовно кута  $\alpha$  необхідно виконувати орієнтування знімальної камери відносно контрольно-вимірної сітки (шляхом посування підставки камери ліворуч або праворуч паралельно площині контрольно-вимірної сітки).

- ***Неперпендикулярність ПЗЗ-матриці до головної оптичної осі***

На основі результатів досліджень, які висвітлені у праці [3], було встановлено, що допустима точність кутів нахилу ПЗЗ-матриці повинна вимірюватися в межах  $10''$  для фокусної віддалі 53мм, а врахування кута розвороту зображення  $\chi$  не повинно перевищувати  $2'27''$  для будь-яких фокусних віддалей.

Слід зауважити, що орієнтування оптичної осі знімальної камери з такими допусками являє собою доволі складну задачу. Оскільки в окулярі оптичної осі знімальної камери відсутня сітка ниток, виникає проблема точно встановити оптичні осі паралельно, тому це робиться наближено, а це, своєю чергою, спричиняє відповідні похибки. Компенсація цих похибок передбачена технологічною схемою запропонованого способу [9].

- ***Встановлення контрольно-вимірної сітки у вертикальне положення***

У випадку невиконання цієї умови виникає похибка нахилу оптичної осі знімальної камери. Для її усунення кути  $\omega$ ,  $\chi$  враховують шляхом нівелювання втулки підставки за допомогою накладного рівня, а кути  $\alpha$  і  $\omega$  компенсують шляхом обертання контрольно-вимірної сітки ("коло похибок").

Необхідно зауважити, що за умови, якщо оптична вісь знаходиться на одній прямій з віссю обертання контрольно-вимірної сітки, похибка нахилу сітки на кути  $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $\chi$  практично не впливатиме.

- ***Децентрація головного перетину контрольно-вимірної сітки відносно осі обертання кулькопідшипника***

Після виконання усіх вищезгаданих умов обертанням контрольно-вимірної сітки досягають такого положення, щоби вісь обертання підшипника збігалася з головним перехрестям контрольно-вимірної сітки. Цю похибку усувають подвійними рухами, а саме: половину несуміщення усувають зміщенням головного перетину контрольно-вимірної сітки, а половину – зміщенням підставки.

- ***Радіальне биття підшипників***

Основними похибками, що впливають на точність положення і обертання кулькопідшипника, є радіальне биття внутрішніх і зовнішніх кілець, що в результаті є сумісним проявом ексцентриситету (тобто відхилення від співвісності відносно базової осі) і відхилення від округлості, що виявляються при повороті деталі навколо базової осі на  $360^\circ$ .

Згідно з даними праці [10], існують відповідні допуски похибок обертання зовнішніх кілець кулькопідшипників різних класів точності, які необхідно враховувати в дослідженнях: для кулькопідшипників 2-го класу точності допустимі похибки обертання зовнішніх кілець при радіальному битті становить 3 мкм, а при боковому – 5 мкм. Як видно з наведених даних, биття підшипника не перевищує точності вимірів на цифровій фотограмметричній станції (ЦФС).

- ***Зміщення камери в момент експонування***

Навіть незначне зміщення знімальної камери в момент знімання приводить до змазування зображення. Тому цю похибку усувають під час знімання пультом дистанційного керування або керуванням з комп'ютера.

- ***Зміщення контрольно-вимірної сітки в момент повороту:***

а) суміщення головної оптичної осі з центром контрольно-вимірної сітки:

– якщо  $x_0 = z_0 = 0$ , то різниця значень  $x_{0_1}, z_{0_1}, x_{0_2}, z_{0_2}$  повинна дорівнювати нулю. Тобто, якщо виникає різниця цих значень, то реально головна оптична вісь не збігається з центром, а це означає наявність величин  $x_0, z_0$ ;

б) незбіжність центру контрольно-вимірної сітки з головною оптичною віссю: цю похибку компенсують за рахунок обертання контрольно-вимірної сітки навколо осі (“коло похибок”).

в) люфт обертання осі контрольно-вимірної сітки: ця похибка залежить від биття підшипників (це питання розглядалося вище).

#### **Спосіб визначення фокусної віддалі ( $f$ ):**

##### **• Зміщення знімальної камери відносно електронного тахеометра**

У цьому випадку паразитичне зміщення усувається, коли штативи знімальної камери та електронного тахеометра надійно встановлені в точці стояння. Варто вказати причини, внаслідок яких можливе зміщення:

- зсув частин приладів під час роботи механізмами керування електронного тахеометра і камери;
- недостатньо сильна фіксація стопорними прапорцями частин приладу.

Цим явищам запобігають в процесі юстування і підготовки приладів до роботи.

##### **• Положення площини дзеркала відносно вертикальної осі електронного тахеометра**

Площина дзеркала повинна бути паралельна вертикальній осі електронного тахеометра. У випадку невиконання цієї умови виникне відведення зображення, а це, своєю чергою, вплине на точність визначення горизонтальних кутів, значення яких використовують у розрахунковій частині способу для визначення елементів внутрішнього орієнтування.

Це явище було проаналізовано за способом, оснований на використанні сферичної тригонометрії, який розглянуто та досліджено у [6]. Отже, розрахуємо допустимий кут нахилу дзеркала  $\alpha$ , за якого похибки, що впливають на точність визначення горизонтальних кутів ( $\delta$ ) і вертикальне зміщення ( $\varepsilon$ ), не впливатимуть на точність вимірювального процесу об'єкта дослідження. Припустимо, що віддаль від точки відображення дзеркала до площини контрольно-вимірної сітки для камер, що застосовуються в дослідженні (Canon EOS 350D, Canon EOS 450D та Canon EOS 5D Mark II), становитиме  $L = 350$  мм, а точність візування зображення віддаленого предмета за перехрестям контрольно-вимірної сітки буде  $m = 0,005$  мм, тоді за формулою

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{m}{L} \quad (1)$$

отримаємо  $\alpha \approx 3''$ . Звісно, що таку точність неможливо забезпечити, використовуючи накладний рівень, точність якого становить  $20''$ . З іншого боку, максимальний кут падіння променя  $i$  при вихідному положенні дзеркала, коли відбивальна площина перпендикулярна до осі  $y$ , а нормаль площини паралельна цій осі для камер Canon EOS 350D, Canon EOS 450D та Canon EOS 5D Mark II, може становити  $i = 60^\circ$ , тоді, використовуючи формулу

$$\varepsilon \approx 2 \cdot \alpha \cdot \cos i, \quad (2)$$

отримаємо, що значення  $\varepsilon \approx 3''$ , тобто, рівнозначне  $\alpha$ . Тоді, за допустимого значення  $\alpha \approx 3''$  і  $i = 60^\circ$  одержимо (3)

$$\delta \approx \alpha^2 \cdot \sin 2i. \quad (3)$$

Після підстановки даних та розрахунку за формулою (3) отримаємо  $\delta = 1,5 \cdot 10^{-9}$ . Відповідно, ця величина похибки на точність визначення результатів вимірювання не впливатиме.

##### **• Положення вибраного предмета відносно площини дзеркала**

Третя умова пов'язана з попередньою, оскільки спостерігається залежність між розташуванням віддаленого предмета (падаючого променя) за висотою відносно положення знімальної

камери (відбитий промінь). За цією умовою встановлюється перпендикулярність відбитого променя відносно віддаленого предмета. Відповідно об'єкт дослідження повинен знаходитися в горизонтальній площині відбитого променя і нормалі до дзеркала. У випадку невиконання цієї умови зображення відводиться від заданого напрямку об'єкта дослідження.

Схема виконання процесу спряження другої і третьої умови полягає в наступному. Встановлюють штатив з маркою і вибирають на місцевості вертикальний предмет (наконечник, вішку тощо), після чого виводять камеру в горизонтальне положення за допомогою накладного рівня. Потім виконують орієнтування за технологією в другому пункті, яка приведена в [6], а згодом, за необхідності уточнюють орієнтування камери: процес проводять методом послідовних наближень.

#### **Спосіб визначення еквівалентної фокусної віддалі варіооб'єктива цифрової неметричної камери ( $f_{\text{екв.}}$ )**

За аналогією з попередніми викладками позначимо можливі похибки, які виникають під час технологічної реалізації способу та впливають на точність визначення еквівалентної фокусної віддалі варіооб'єктива цифрової знімальної камери, а саме:

- 1) нахил знімальної камери (вплив нахилу на кути  $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $\chi$ );
- 2) нахил дзеркала;
- 3) розворот та нахил контрольно-вимірної сітки (при вимірюванні координат контрольно-вимірної сітки на отриманих в результаті знімання цифрових зображень необхідно враховувати дисторсію об'єктива знімальної камери. Це можна зробити за допомогою програмного забезпечення [5]);
- 4) відхилення головної точки знімка при переміщенні об'єктива.

Виконання першої, другої та третьої умови розглянуто вище при дослідженні способів визначення планових елементів внутрішнього орієнтування ( $x_0$ ,  $z_0$ ): та фокусної віддалі ( $f$ ).

Тоді розглянемо вплив похибок, що виникають у результаті *відхилення головної точки знімка при переміщенні об'єктива*:

а) похибка кріплення.

Відхилення головної точки знімка при кріпленні об'єктива, незважаючи на його стабільність, можна вважати величиною сталою, що зберігає своє положення певний час. Похибка кріплення змінюється тільки під час встановлення та знімання об'єктива;

б) переміщення рухомої частини об'єктива під час його фокусування.

На відміну від попередньої похибки, ця похибка не є сталою, тобто може бути систематичною або випадковою. Відомо, що заводський варіант кріплення об'єктива байонетним способом має люфт до  $\sigma = 0,3...0,4$  мм. Тому цю похибку  $\sigma$  слід враховувати аналітично у розрахункових роботах.

На точність визначення координат головної точки знімка впливатиме непаралельність площин об'єктива і притискного скла на кути  $\alpha$  і  $\omega$  [10].

Визначимо похибку координат головної точки знімку, що виникне у випадку непаралельності площин, коли  $\alpha = \omega = \beta$  за формулою

$$m_{x,z} = \frac{2 \cdot f \cdot m_{\beta}}{\rho}, \quad (4)$$

де  $f = 50$  мм – середнє значення фокусної віддалі знімальних камер Canon EOS 350D, Canon EOS 450D та Canon EOS 5D Mark II;  $m_{\beta} = 3''$  – точність горизонтування об'єктива накладним рівнем.

Отже, в результаті розрахунку за формулою (4) одержимо, що сумарна похибка становить 0,001 мм. Як видно, ця похибка на результати дослідження не впливатиме. Однак у випадку, якщо похибка становитиме понад 0,005 мм, її необхідно буде враховувати аналітично в розрахунках.

#### **Висновки**

За результатами теоретичних і експериментальних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Запропоновано три способи визначення елементів внутрішнього орієнтування цифрових неметричних камер з метою підвищення точності отримання координат точок об'єктів, що досліджуються, а саме:

- спосіб визначення планових елементів внутрішнього орієнтування цифрових неметричних знімальних камер;
- спосіб визначення фокусних віддалей знімальних камер;
- спосіб визначення зміни еквівалентної фокусної віддалі варіооб'єктива цифрової неметричної камери.

2. Створено діючі макети пристроїв і приладів для реалізації способів.

3. Наведено результати дослідження запропонованих способів з метою підвищення точності та технологічності визначення елементів внутрішнього орієнтування цифрових неметричних знімальних камер.

4. Під час подальших досліджень заплановано детальніше проаналізувати запропоновані способи для розроблення автоматизованих процесів визначення елементів внутрішнього орієнтування цифрових знімальних систем.

1. Быков В.Л. Полевая калибровка снимков с использованием средств спутникового позиционирования / В.Л. Быков // *Геодезия и картография*. – 2007. – № 8. – С. 39–43. 2. Блохинов Ю.Б. Автоматическая калибровка цифровых камер на основе использования кольцевых кодированных меток / Ю.Б. Блохинов, Д.А. Грибов, С.В. Скрыбин, Б.Н. Приматов, Ю.Ю. Шаповалов // *Известия высших учебных заведений. “Геодезия и аэрофотосъемка”*. – М., 2009. – № 2. – С. 104–108. 3. Глотов В. Аналіз впливу похибок елементів внутрішнього орієнтування при короткобазисному стереофотограмметричному зніманні / В. Глотов, О. Пацетник // *Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: Зб. наук. пр.* – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2008. – Вип. II (16). – С. 117–122. 4. Глотов В. М., Майоров Г. Є. Метод калібрування цифрових камер // *Матеріали 2-ї Міжнародної наук.-практ. Конф. “Кадастр, фотограмметрія, геоінформатика: Сучасні технології та перспективи розвитку*. – Львів–Краків, 2000. – С. 163–169. 5. Глотов В.М. Методи навігаційно-цифрової фотограмметрії при дослідженні кінематичних процесів: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.24.02; – Захищена: 09.12.2007; Затв. 09.12.2007. – Львів, 2007. – 357 с. 6. Глотов В.Н. Разработка и исследование способов определения элементов внутреннего ориентирования фототеодолитных камер: Дис. ... канд. техн. наук: 05.24.02; – Захищена: 09.12.1990; Затв. 09.12.1990. – Львов, 1990. – 141 с. 7. Глотов В.М. Спосіб визначення фокусної віддалі цифрових неметричних знімальних камер / В.М. Глотов, О.Д. Пацетник // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – Львів, II (20). – 2010. – С. 150–153. 8. Глотов В.М. Спосіб визначення зміни еквівалентної фокусної віддалі варіооб'єктива цифрової неметричної камери / В.М. Глотов, О.Д. Пацетник // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – Львів, I (21). – 2011. – С. 150–153. 9. Глотов В.М. Спосіб визначення планових елементів внутрішнього орієнтування цифрових неметричних знімальних камер / В.М. Глотов, О.Д. Пацетник // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – Львів, II (18). – 2009. – С. 75–79. 10. Калантаров Е.И. Фотограмметрическое инструментоведение: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1986. – 126 с., ил. 11. Крылов Д.В. Исследование метода фотограмметрической калибровки цифровых камер с использованием пространственного тест-объекта / Д.В. Крылов // *Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка*. – Москва, 2011. – № 1. – С. 57–62. 12. Купко В.С. Атестація неметричних цифрових фотокамер на метрологічному стенді / В.С. Купко, І.В. Лукін, І.О. Власов // *Вісник геодезії та картографії*, 2009. – № 1 (58). – С. 24–27. 13. Могильный С.Г. Конструктивная калибровка цифровой камеры / С.Г. Могильный, А.А. Шоломицкий, А.А. Лунев // *Известия высших учебных заведений. “Геодезия и аэрофотосъемка”*. – М., 2011. – № 2. – С. 62–65. 14. Remondino F. Digital camera calibration methods: considerations and comparisons / Fabio Remondino, Clive Fraser // *IAPRS: Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Dresden 25-27 September 2006*. – Volume XXXVI. – Part 5. – P. 266–272.