

Ключевые слова: крен, наземное лазерное сканирование, кручение, трехмерная модель, горизонтальное смещение.

Y. Horkovchuk, D. Horkovchuk, N. Kulichenko
INVESTIGATION OF A ROLL OF THE TOWER CONSTRUCTION BY THE
METHOD OF THE TERRESTRIAL LASER SCANNING

The results of the investigation of the method of terrestrial laser scanning in solving the practical problem of monitoring the roll of a tower structure are presented. As an object of study was chosen decorative metal spire about 50 meters high. The need to determine the roll of the structure was associated with the beginning of the reconstruction, during which significant deviations of the structure from its actual position on the materials of the control survey at the time of construction were recorded. Based on the results of laser scanning of this construction a three-dimensional model was constructed that was compared with the design model. Based on the results of the comparison the roll of the structure was determined, as well as the horizontal displacements in different sections. A preliminary accuracy calculation has been made and it is established that the method of terrestrial laser scanning makes it possible to determine the roll of tower structures with the required accuracy. In addition to roll and displacements along the three-dimensional model the torsion of the structure was determined. The results of the study confirmed the expediency of using the method of terrestrial laser scanning for monitoring the rolls of tower structures.

Keywords: roll, terrestrial laser scanning, torsion, 3D model, horizontal displacement.

Надійшла до редакції

22.02.2018

УДК 528.72/73

О. Є. Куліковська, д-р техн. наук, професор,
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

Ю. Ю. Атаманенко, науковий співробітник,
Донецький юридичний інститут МВС України

О. К. Копайгора, асистент кафедри вищої
математики та інформаційних систем
Донецький національний університет економіки та торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського

РЕЗУЛЬТАТИ КАЛІБРУВАННЯ ЦИФРОВОЇ КАМЕРИ БПЛА
ЗА АЕРОЗНІМКАМИ ТЕСТОВОГО ПОЛІГОНА

У роботі наведено результати калібрування цифрової камери безпілотного літального апарата за матеріалами аерознімання тестового полігона. Польове калібрування полягало у порівнянні визначених координат 36 маркованих опорних точок на аерознімку з даними тахеометричного знімання.

© О.Є. Куліковська, Ю.Ю. Атаманенко,
О.К. Копайгора, 2018

Отримані матеріали знімань були опрацьовані у програмних комплексах Delta Digital та Surfer. У програмному пакеті Surfer побудовано цифрові моделі тест-об'єкта, векторні діаграми та 3D-моделі геометричних спотворень координат марок тестового полігона. Аналіз результатів дає підставу для висновку про можливість використання матеріалів знімання з БПЛА для вирішення геодезичних завдань та знімання невеликих територій з метою великомасштабного картографування.

Ключові слова: аерознімання, БПЛА, камера, калібрування камери, цифрові дані, лабораторне калібрування, польове калібрування, цифрова модель, тест-об'єкт, програмне забезпечення, Surfer, Delta Digital, Statistica 10.

Вступ. Останнім часом у сфері аерофотогеодезії стає все більш актуальним питання, що стосується застосування безпілотних літальних апаратів з різними камерами на борту для виконання фотограмметричних завдань. Це можуть бути «побутові» камери зі шторно-щілинними затворами, професійні – з ламельними затворами й апарати з центральним затвором.

Прогрес у сфері цифрових технологій сприяв появі на ринку високоякісної цифрової знімальної апаратури. Мало- і середньоформатні цифрові камери успішно використовують для наземного стереофотограмметричного знімання й аерознімання [1]. Впровадження цифрової фотограмметричної апаратури в практику аерознімання спрощує технологію фотографування й опрацювання матеріалів знімання, дає змогу отримувати високоякісні кольорові і мультиспектральні знімки, усуває ряд обмежень, що стосуються динамічних умов польоту.

Ключовим фактором такої тенденції є оперативність отриманих даних і відносно низька вартість реалізації проєктів. Таким чином, знімання невеликих територій з метою великомасштабного картографування за допомогою безпілотних літальних апаратів опиняється практично поза конкуренцією для класичного аерознімання або супутникового знімання за часовими й економічними показниками.

Серед виробників і користувачів таких аерознімальних систем побутує думка, що виконувати лабораторне калібрування не потрібно, оскільки алгоритм сучасних цифрових фотограмметричних систем дає можливість здійснювати самокалібрування в процесі побудови і зрівнювання фототріангуляції [2]. Однак всебічні дослідження, теоретичні і практичні, у цьому напрямі не виконувалися.

Звичайно, окрім переваг, цифрові дані з БПЛА характеризуються рядом особливостей, що ускладнюють застосування до них класичних методів фотограмметричного опрацювання. Чимало негативних факторів, таких як використання некаліброваних побутових камер зі шторно-щілинними затворами без компенсації зсуву зображення, нестабільна поведінка літального апарата у повітряному просторі, дешеве бортове обладнання, накладає певний відбиток на підхід до опрацювання таких даних.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження в галузі калібрування камер і знімків висвітлено в роботах вітчизняних і зарубіжних учених, а саме І.Т. Антипова, Х.В. Бурштинської, С.П. Войтенка, В.М. Глотова,

В.Б. Дубинівського, П.Д. Крельштейна, А.Н. Лобанова, Б.К. Малявського, А.П. Михайлова, В.М. Куркова, Р. Шульца, F. Ackerman, K. Jacobsen, C. Norton та інших.

Відомо, що неповний облік параметрів ексцентриситету супутникової антени і фотокамери призводить до похибок строгого калібрування знімків. Автори статті [3] пропонують уникнути похибок, виконуючи аерознімання полігона з двох різних висот і визначаючи фактичні координати центрів фотографування нестрогим способом, а параметрів калібрування знімків, навпаки, строгим способом.

У науковій роботі [4] описано дослідження точності фототріангуляції із застосуванням різних методів калібрування камер, як лабораторних, так і польових. Як програмне забезпечення використано цифрові фотограмметричні станції Photomod та PhotoScan. У статті висвітлено результати дослідження, сформульовано висновок та наведено практичні рекомендації.

Авторами статті [5] виконано серію експериментально-дослідних робіт за цифровим наземним стереофотограмметричним методом визначення об'ємів змитих ґрунтів за стереопарою цифрових зображень, отриманих цифровою неметричною знімальною камерою з метою визначення реальної точності способу. Дослідники вважають, що спосіб можна застосовувати й у польових умовах.

Велику увагу приділено факторам неузгодженості стереокамер і методам їх калібрування у статті [6], зокрема представлено метод прискорення прорахунку карт глибини завдяки використанню багатопотоковості графічного процесора, що дасть змогу виконувати 3D-реконструкцію в режимі реального часу за допомогою відеопотоку. Описано різноманітні методи 3D-реконструкцій об'єктів за знімками стереознімання або серії знімків, наведено їх переваги і недоліки.

Постановка завдання. Опрацювати матеріали аерознімання в програмних комплексах Delta Digital і Surfer, побудувати цифрові і векторні моделі геометричних спотворень координат марок. Визначити геометричні спотворення координат марок тестового полігона за результатами польового калібрування цифрової камери БПЛА для обґрунтування перспективи використання БПЛА під час реєстрації дорожньо-транспортних пригод.

Основна частина. У теперішній час для калібрування цифрової камери БПЛА застосовують польовий і лабораторний методи калібрування [7]. Найбільш надійними з погляду однозначності результатів є лабораторні методи, основані на безпосередніх дослідженнях оптичних систем фотоапаратів або отриманих ними фотографічних зображень спеціальних тест-об'єктів. Недоліком лабораторних досліджень є те, що в процесі їх виконання не враховують впливи зовнішнього середовища, які проявляються під час експлуатації апаратури в реальних умовах. З цієї причини результати такого калібрування оцінюють як наближені.

Методи, які застосовують в польових умовах, вважають більш точними, дослідження виконують за знімками спеціального каліброваного полігону, створеного на місцевості [8]. Крім того, існує методика, яка дає змогу визначити параметри калібрування безпосередньо за матеріалами виробничого аерознімання за рахунок надлишку вихідних даних і геометричного зв'язку, які виникають в

фотограмметричних мережах. Надійність цих способів залежить від характеру місцевості, на якій створено полігон або розміщено об'єкт аерознімання.

Далі наведено результати застосування польового методу калібрування для камери, встановленої на БПЛА DJI Phantom 3 – 1/2.3" CMOS-сенсор на 12 мегапікселів з кутом огляду 94°. В експерименті використано тест-об'єкт на території ДВНЗ «Криворізький національний університет» [9] і спеціальні програмні забезпечення Delta Digital [10], Statistica_10 [11] та Surfer [12].

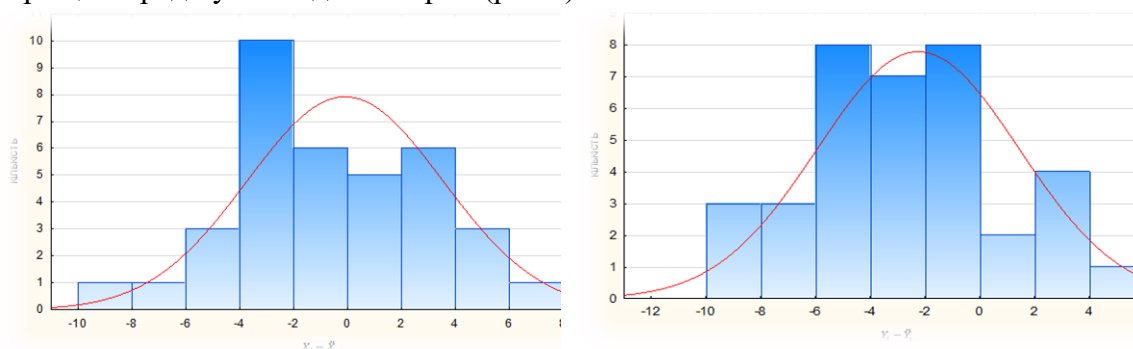
Для виконання калібрування камери тест-полігон закріплено 36 маркованими опорними точками з деяким перепадом висотної відмітки. Спираючись на відомі координати трьох вихідних пунктів тахеометричного знімання, яке виконувалося паралельно з аерозніманням на тестовому полігоні, визначено в програмному комплексі Delta Digital координати визначуваних марок на аерознімку. У таблиці наведено різницю отриманих даних.

Таблиця

Різниця координат марок тестового полігона

№ точки	ΔX , см	ΔY , см	№ точки	ΔX , см	ΔY , см	№ точки	ΔX , см	ΔY , см
26	-7	+4	17	-2	-5	29	-8	-2
25	-3	-1	16	-2	-3	28	-3	+4
4	0	-5	15	-4	-1	27	+2	-2
23	+1	+2	14	0	-8	26/3	0	+4
22	+3	+3	13	-3	+1	26/1	+8	-2
21	+6	-4	12	-3	-7	47	+3	-3
20	-2	-2	11	+3	-9	46	+3	-2
19	0	-1	10	+5	+6	48	+2	-1
40	+1	-5	33	-2	-1	30	-4	-7
32	-3	-5	34	+2	-4	39	+4	-4
48	-2	-1	38	+5	0	40	-1	-5
18	+3	-1	9	0	-8	31	-5	-6

У програмному забезпеченні Statistica 10 за даними таблиці побудовано варіаційні ряди у вигляді гістограм (рис.1).



а

б

Рис. 1. Варіаційні ряди у вигляді гістограм:

а – побудована за даними ΔX ; б – побудована за даними ΔY

Пакет Surfer дав змогу опрацювати і візуалізувати двовимірні набори даних, що описуються функціями типу $z = f(x, y)$, побудувати каркасні і

тривимірні моделі, опорні і векторні карти, цифрові моделі тест-об'єкта з позначеними марками (рис. 2).

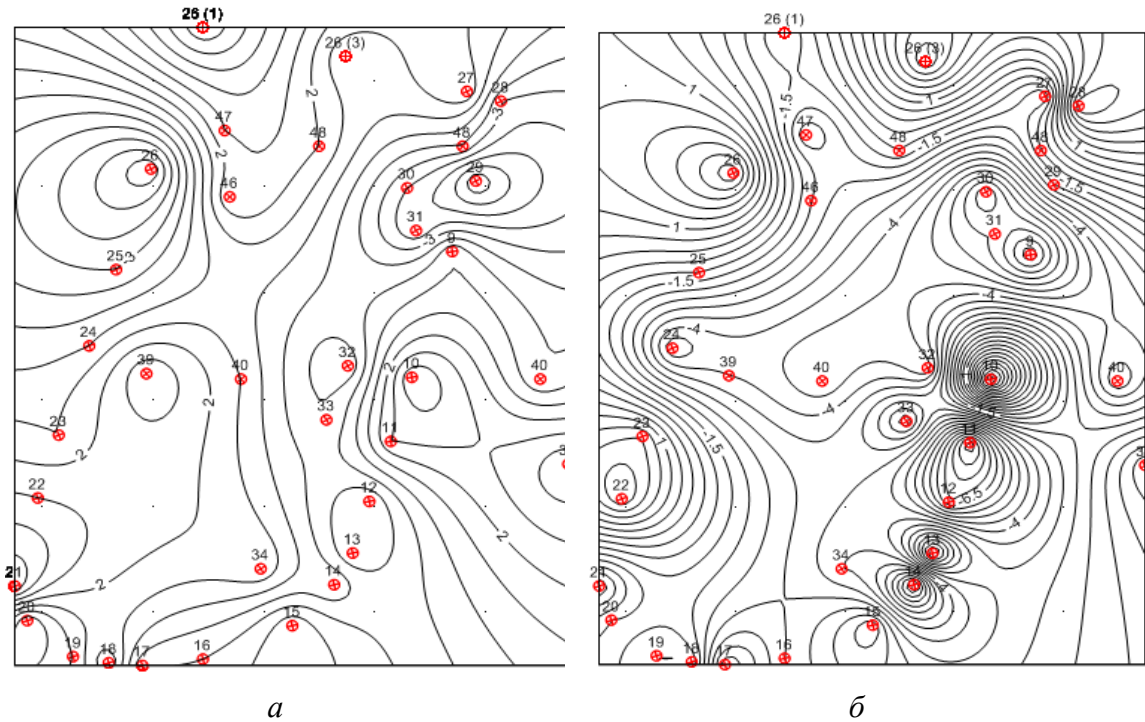


Рис. 2. Цифрові моделі тест-об'єкта з відображеним рельєфом поверхні у вигляді ізоліній: *а* – побудована за даними ΔX ; *б* – побудована за даними ΔY

На рис. 3 показано створені векторні діаграми геометричних спотворень координат 36 марок, визначених у результаті тахеометричного знімання, та вимірних координат марок на аерознімку з БПЛА.

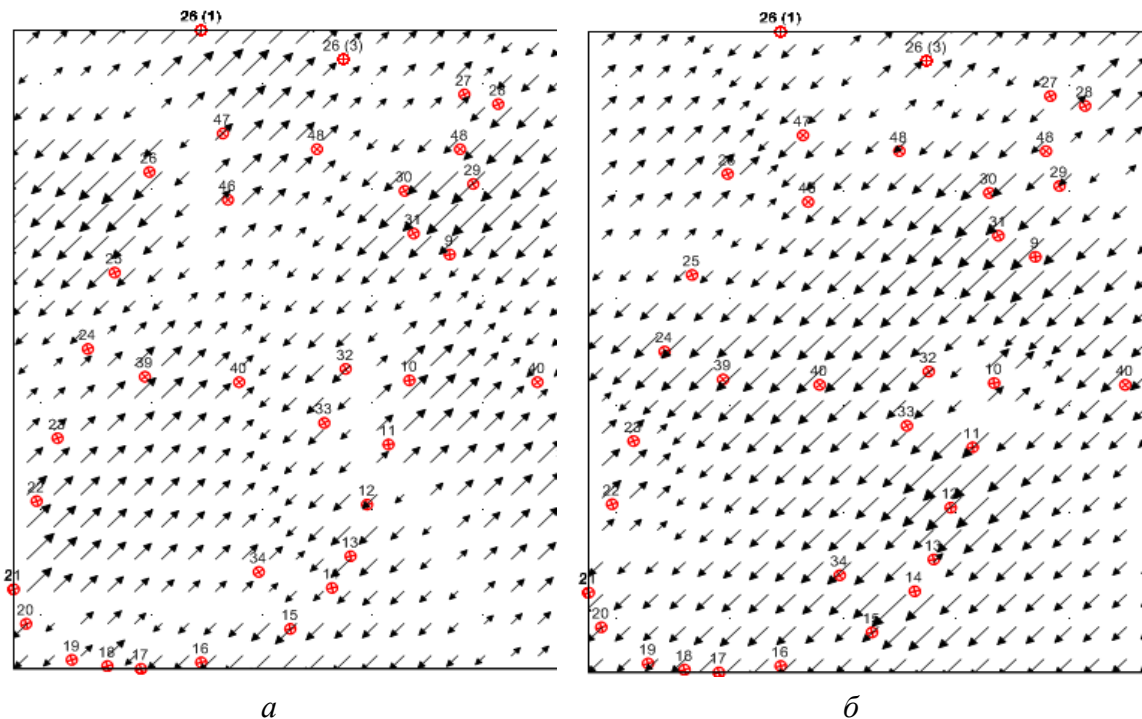


Рис. 3. Векторні діаграми геометричних спотворень координат марок: *а* – побудована за даними ΔX ; *б* – побудована за даними ΔY

Проаналізувавши отримані дані побудованих 3D-моделей спотворення координат марок тестового об'єкта (рис. 4), можна стверджувати, що відхилення в значеннях координат властиві контуру полігона. В той же час слід відмітити, що загалом геометричні спотворення практично рівномірні для тест-об'єкта.

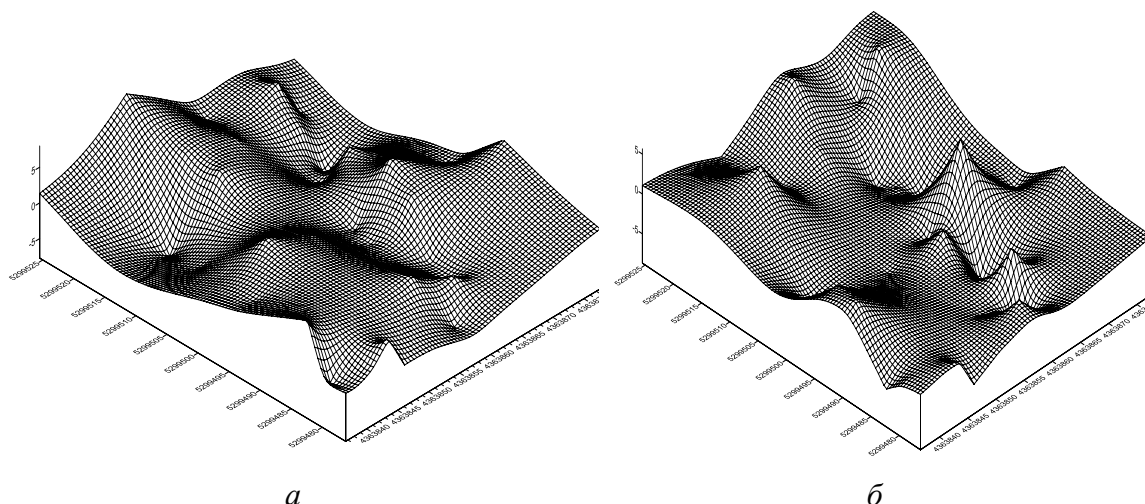


Рис. 4. 3D-моделі спотворення координат марок тестового об'єкта:
a – побудована за даними ΔX ; *b* – побудована за даними ΔY

Об'єктивним критерієм точності є знаходження середньоквадратичних похибок (СКП) координат контрольних точок, визначених з цифрових матеріалів за формулами

$$m_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \check{X}_i)^2}{n-1}}$$

$$m_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \check{Y}_i)^2}{n-1}}$$

де m_x, m_y – СКП визначених координат; n – кількість контрольних точок; X_i, Y_i – планові координати контрольної точки з вимірювання тахеометричного знімання; \check{X}_i, \check{Y}_i – планові координати контрольної точки, визначені на знімках.

Знайдені СКП координат контрольних точок за наведеними формулами становлять: $m_x = \pm 3,63$ см; $m_y = \pm 4,33$ см.

Висновки. Дослідження засвідчили, що точність фотоплану тестового полігона, створеного в процесі опрацювання матеріалів аерознімання з використанням БПЛА, дає змогу виконувати великомасштабне картографування для реєстрації ДТП. Отже, це дає підставу для висновку про можливість використання матеріалів знімання з безпілотного літального апарата для виконання геодезичних робіт, а також завдань зі складання великомасштабних планів невеликих ділянок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Михайлов А. П.* О применении цифровых фотокамер со шторно-щелевым затвором для выполнения аэрофотосъемки с легкомоторных и беспилотных летательных аппаратов / А. П. Михайлов, Э. Р. Монтель Андраде, П. В. Мануэль де Хесус // Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – №4. – С. 30 – 32.
2. *Быков А. Л.* Исследования методики калибровки аэрофотокамер на равнинном испытательном полигоне / А. Л. Быков // Геодезия и картография. – 2012. – № 6. – С. 32 – 35.
3. *Чибуничев А. Г.* Исследование точности фототриангуляции с использованием различных методов лабораторной и полевой калибровки / А.Г. Чибуничев, В. М. Курков, А. В. Говоров [и др.] // Космическая съемка. Аэрофотосъемка и фотограмметрия. – 2016. – № 2. – С. 42 – 47.
4. *Быков А. Л.* Особенности полевой калибровки цифровых фотокамер по снимкам равнинного испытательного полигона / А. Л. Быков, В. Л. Быков, Л.В. Быков // Наука о Земле. – 2016. – Вып. 3 (23). – С. 149 – 154.
5. *Глотов В.* Дослідження ерозійної небезпеки ґрунтів на детальному рівні цифровим наземним стереофотограмметричним методом (Частина 2) / В. Глотов, М. Процик, Д. Жук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2014. – Вип. I (27). – С. 126 – 130.
6. *Кортунов В. І.* 3D-реконструкція об'єктів за допомогою безпілотних систем / В. І. Кортунов, А. О. Молчанов, І. А. Гергель // Інженерна геодезія. – 2015. – Вип. 62. – С. 108 – 116.
7. *Антипов И. Т.* Замечания к способу калибровки камер по разномасштабным снимкам плоского полигона / И. Т. Антипов // ГЕО-Сибирь. – 2008. – Т. 3. – С. 69 – 75.
8. *Даник Ю. Г.* Вимоги до оптичної системи та процесу обробки цифрових зображень апаратурою безпілотного літального апарата / Ю. Г. Даник, М.М. Проценко // Вісник ЖДТУ. – 2013. – Вип. 1. – С. 42 – 47.
9. *Атаманенко Ю. Ю.* Оцінка точності визначення відстаней за результатами опрацювання аерознімків з БПЛА / Ю. Ю. Атаманенко // Інженерна геодезія. – 2017. – Вип. 64. – С. 89 – 99.
10. *Федоров Д.* Digitals. Использование в геодезии, картографии и землеустройстве / Д. Федоров // Публикация ООО «Аналитика». – 2015. – 354 с.
11. *Statistica_10.* – StatSoft Обзор методов анализа и руководство пользователя. – 2001. – 225 с.
12. *Иванова И. А.* Решение геологических задач с применением программного Р47 пакета Surfer: практикум для выполнения учебно-научных работ студентами направления «Прикладная геология» / И. А. Иванова, В.А. Чеканцев. – Томск: Томский политехн. ун-т – 2008. – 92 с.

REFERENCES

1. *Mihailov A. P., Montel Andrade E. R. & Manuel de Hesus P. V.* (2013). О применении цифровых фотокамер со шторно-щелевым затвором для выполнения аэрофотосъемки с легкомоторных и беспилотных летательных аппаратов [On the use of digital cameras with a curtain-slotted shutter for aerial photography performed with the help

oflight-engine and unmanned aerial vehicles]. *Geodeziya i aehrofotosemka – Geodesy and aerial photography*, 4, 30-32 [in Russian].

2. Bykov A. L. (2012). Issledovaniya metodiki kalibrovki aehrofotokamer na ravninnom ispytatel'nom poligone [Study of the accuracy of phototriangulation using various methods of laboratory and field calibration]. *Geodeziya i kartografiya – Geodesy and cartography*, 6, 32-35 [in Russian].

3. Chibunichev A. G., Kurkov V. M., Govorov A. V., Smirnov A. V. & Mihalin V.A. (2016). Issledovanie tochnosti fototriangulyacii s ispol'zovaniem razlichnyh metodov laboratornoj i polevoj kalibrovki [Investigation of accuracy in phototriangulation using different laboratory calibrating methods and field calibrating methods]. *Kosmicheskaya semka. Aehrofotosemka i fotogrammetriya – Space imagery. Aerial photography and photogrammetry*, 2, 42-47 [in Russian].

4. Bykov A. L., Bykov V. L. & Bykov L. V. (2016). Osobennosti polevoj kalibrovki cifrovyyh fotokamer po snimkam ravninnogo ispytatel'nogo poligona [Features of the field the calibration of digital cameras for images of the plains test site]. *Nauka o Zemle – GeoScience*, 3(23), 149-154 [in Russian].

5. Glotov V., Procik M. & ZHuk D. (2014). Doslidzhennya erozijnōi nebezpeki runtiv na detal'nomu rivni cifrovim nazemnim stereofotogrammetrichnim metodom (Chastina 2) [Study on soil erosion hazard on detailed level by digital terrestrial stereophotogrammetric method (Part 2)]. *Suchasni dosyagnennya geodezichnoī nauki ta virobnictva – Modern achievements in geodetic science and production*, I(27), 126-130 [in Ukrainian].

6. Kortunov V. I., Molchanov A. O. & Gergel I. A. (2015). 3D-rekonstrukciya obektiv za dopomogoyu bezpilotnih system [3D-reconstruction of objects using unmanned systems]. *Inzhenerna geodeziya – Engineering geodesy*, 62, 108-116 [in Ukrainian].

7. Antipov I. T. (2008). Zamechaniya k sposobu kalibrovki kamer po raznomasshtabnym snimkam ploskogo poligona [Remarks on the method of camera calibration regarding different-scale images of a flat site]. *GEO-Sibir* [in Russian].

8. Danik Yu. G. (2013). Vimogi do optichnoī sistemi ta procesu obrobki cifrovih zobrazen aparaturōyu bezpilotnogo litalnogo aparata [Requirements to the optical system and processing of digital images with the equipment of an unmanned aerial vehicle]. *Visnik ZHDTU – Reporter ZHSU*, 1, 42-47 [in Ukrainian].

9. Atamanenko Yu. Yu. (2017). Ocinka tochnosti viznachennya vidstanej za rezultatami opracyuvannya aeroznimkiv z BPLA [Evaluation of distances detection accuracy by the results of air photographing processing with UAV]. *Inzhenerna geodeziya – Engineering geodesy*, 64, 89-99 [in Ukrainian].

10. Fedorov D. (2015). *Digitals. Ispolzovanie v geodezii, kartografii i zemleustrojstve* [Digitals. Use in geodesy, cartography and land management]. Publikaciya OOO «Analitika» [in Ukrainian].

11. Statistica_10. (2001). Obzor metodov analiza i rukovodstvo polzovatelya. StatSoft [Overview of Analysis Methods and User's Manual. StatSoft]. [in Russian].

12. Ivanova I.A. (2008). *Reshenie geologicheskikh zadach s primeneniem programmogo R47 paketa Surfer: praktikum dlya vypolneniya uchebno-nauchnyh rabot studentami napravleniya «Prikladnaya geologiya»* [Solution of geological

problems using SurferP47 software package: a tutorial for the preparation of educational and scientific papers by students in the field of "Applied Geology"]. Tomsk: TPU [in Russian].

О. Е. Куликовская, Ю. Ю. Атаманенко, О. К. Копайгора
РЕЗУЛЬТАТЫ КАЛИБРОВКИ ЦИФРОВОЙ КАМЕРЫ БПЛА
ПО АЭРОСНИМКАМ ТЕСТОВОГО ПОЛИГОНА

В работе приведены результаты калибровки цифровой камеры беспилотного летательного аппарата по материалам аэросъемки тестового полигона. Полевая калибровка заключалась в сравнении координат 36 маркированных опорных точек, определенных на аэроснимке с данным тахеометрической съемки. Полученные материалы съемок обрабатывались в программных комплексах Delta Digitalis и Surfer. В программном пакете Surfer построено цифровые модели тест-объекта, векторные диаграммы и 3D-модели геометрических искажений координат марок тестового полигона. Анализ результатов дает основание сделать вывод о возможности использования материалов съемки с БПЛА для решения геодезических задач и выполнения крупномасштабного картографирования небольших территорий.

Ключевые слова: аэросъемка, БПЛА, камера, калибровка камеры, цифровые данные, лабораторная калибровка, полевая калибровка, цифровая модель, тест-объект, программное обеспечение, Surfer, Delta Digitalis, Statistica 10.

О. Kulikovska, Yu. Atamanenko, O. Kopayhora
RESULTS OF CALIBRATION OF DIGITAL CAMERA FOR UAV BASED ON
AERIAL IMAGES OF THE TEST SITE

Paper covers the results of calibration of digital camera for an unmanned aerial vehicle (UAV) based on aerial materials of the test site. Field calibration involved comparison of the fixed positions of 36 reference points marked in the aerial image against the data of tacheometric shooting. The shooting materials received were processed in Delta Digitalis and Surfer software complexes. Statistica 10 software allowed to build variation series in the form of histograms based on the data of the comparison of actual position marks of the reference points. Digital models of the test object with marks made on them, vector diagrams of geometric distortions of mark positions defined according to the tacheometric shooting and mark positions defined in the aerial image taken with the help of the UAV, 3-D models of the distortion of the mark positions of the test object were built in the Surfer software package. The research has shown that the accuracy of a photographic plan of the test site created as a result of the processing of aerial materials using UAV allows to perform a large-scale mapping in order to record road traffic accidents. Consequently, this gives grounds to make a conclusion on the possibility to use shooting materials taken with the help of the unmanned aerial vehicle in solving geodetic problems and shooting small areas for the large-scale mapping.

Keywords: *aerial photography, UAV, camera, camera calibration, digital data, laboratory calibration, field calibration, digital model, the test object, software, Surfer, Delta Digital, Statistica 10.*

Надійшла до редакції

03.03.2018

УДК 517.7

Б.Р. Сосса

Начальник відділу геоінформаційних технологій та сканування АТ НВК "Курс"

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ТИПУ І РОЗМІРУ ПЛОЩИННИХ МАРОК, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ПІД ЧАС КАЛІБРУВАННЯ НАЗЕМНИХ ЛАЗЕРНИХ СКАНЕРІВ

Сучасні дослідження методів калібрування НЛС провадяться в приміщеннях й обмежені за відстанню. В статті розглянуто застосування плоских і циліндричних площинних і сферичних марок або тестових калібрувальних об'єктів під час калібрування наземних лазерних сканерів на всіх діапазонах вимірюваних відстаней. Досліджено мінімально допустимі розміри марок для однозначного визначення поверхонь на відстані до 350м. Доведено, що в процесі калібрування на великій відстані недоцільно використовувати циліндричні марки та сферичні марки стандартних розмірів, натомість доцільно використовувати плоскі площинні марки і сферичні марки збільшеного розміру.

Ключові слова: *наземне лазерне сканування, калібрування сканерів, сферичні марки, циліндричні марки, плоскі площинні марки, тестові об'єкти калібрування.*

Вступ. Використання технологій наземного лазерного сканування (НЛС) для вирішення прикладних завдань останніми роками значно розширилось, а подекуди сканери навіть замінюють традиційні прилади. Це можна пояснити тим, що за точністю деякі сучасні системи досягають показників традиційних геодезичних приладів.

З апаратного погляду особливість НЛС в тому, що нам відомі лише загальні принципи будови сканерів, тоді як для правильного математичного опису об'єкта потрібно знати ще й геометричні та просторові зв'язки між конструктивними елементами сканера. Це спонукає дослідників під час аналізу похибок систем НЛС розглядати їх (системи) з позицій «чорної скриньки», про що йдеться в праці [4]. Зважаючи на це, підвищення точності НЛС нині залишається досить актуальним завданням. Крім того, згадані особливості НЛС залишають широке поле для досліджень.

Аналізуючи дані провідних виробників апаратної частини технології НЛС (Leica Geosystems, Sokkia Topcon, Zoller-Fröhlich, Surphaser, Faro, Riegl, Callidus),