

УДК 528.5

*Єрмоленко Д.А., д.т.н., доц.,
професор кафедри автомобільних доріг,
геодезії, землеустрою та сільських будівель
Національного університету
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
ORCID: 0000-0001-6690-238X, e-mail: yermolenko-da@ukr.net*

ФОРМУВАННЯ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНОЇ БАЗИ ПОПЕРЕДНЬОЇ ПІДГОТОВКИ НЕМЕТРИЧНИХ ФОТОАПАРАТІВ ДЛЯ ПОТРЕБ БЛИЖНЬОЇ ФОТОГРАМЕТРІЇ

***Анотація.** Розглянуто застосування методики ближньої фотограмметрії при отриманні геометричної інформації про об'єкти з різних галузей практичної діяльності. Висвітлено технічні аспекти знімальних систем, що чинять суттєвий вплив на точність отримуваних результатів за результатами застосування фотограмметричної методики. Наведено проектну пропозицію облаштування спеціальної фотограмметричної лабораторії, яка дозволяє забезпечити виконання практичних дій по попередній підготовці знімального обладнання. А також може бути використана у навчальному процесі підготовки студентів різних ступенів вищої освіти за спеціальностями технічної галузі.*

***Ключові слова:** фотограмметрія, калібрування, просторові координати, переміщення*

UDC 528.5

***Yermolenko D.A.,** Doctor of Technical Sciences, Associate Professor.,
professor of the department of Highways, Geodesy,
Land Management and Rural Buildings
Poltava National Technical Yurii Kondratyuk University
ORCID: 0000-0001-6690-238X, e-mail: yermolenko-da@ukr.net*

FORMATION OF MATERIAL AND TECHNICAL BASE FOR PRE-TRAINING NON-METRIC CAMERAS FOR THE NEEDS OF NEAR PHOTOGRAMMETRY

***Abstract.** The application of the method of near photogrammetry in obtaining geometric information about objects from different fields of practical activity is considered. The technical aspects of the shooting systems, which have a significant impact on the accuracy of the obtained results by the results of the application of photogrammetric methods, are highlighted. The project proposal for the installation of a special photogrammetric laboratory, which allows to ensure the implementation of practical steps for the preliminary preparation of shooting equipment. It can also be used in the educational process of preparing students of different degrees of higher education in the specialties of the technical field.*

***Keywords:** photogrammetry, calibration, spatial coordinates, displacement*

Методи фотограмметрії дозволяють отримувати геометричну інформацію про форму, розміри та просторове положення об'єкту, що досліджується за знімками. Застосування методів фотограмметрії має низку переваг: щільність інформації про об'єкт на декілька порядків більша ніж при звичайних обмірах; висока точність вимірювань; збір інформації відбувається без контакту із об'єктом; отримання інформації про весь об'єкт у короткий проміжок часу; можливість вивчення характеристик рухомих об'єктів та довготривалих процесів [1] тощо.

В останні роки набула широкого вжитку фотограмметрія близького діапазону що продемонструвала свою здатність як потужна техніка для отримання метричних даних промислових об'єктів. Серед найбільш вдалих прикладів можна навести результати: визначення деформацій будівель і споруд та їх окремих частин під час експлуатації; у

наукових дослідженнях особливостей роботи під навантаженням несучих будівельних конструкцій [2], зокрема, вивчення еволюції розвитку мережи тріщин (рис. 1, а) та визначення їх ширини на поверхні залізобетонних елементів [3]; вивчення температурних деформацій [4] зварювальних деталей (рис. 1, б); визначення характеристик рухомих об'єктів [5, 6], зокрема, транспортних засобів, ківшу екскаватору, ракет, снарядів, елементарних часток; відновлення архітектурних пам'яток за історичними фотографіями [7]; фіксування і складання плану дорожньо-транспортної пригоди або місця скоєння злочину; вивчення мікрорельєфу; вивчення індивідуальних особливостей скелету людини [8] та руху окремих частин тіла (рис. 1, в); вивчення розмірів тіла тварин на прикладі приматів [9] тощо.



Рис. 1. Приклади застосування методів ближньої фотограмметрії

Окремо слід виділити застосування фотограмметрії ближнього діапазону для побудови цифрових моделей поверхні промислових зразків (рис. 2), зокрема, поверхні моделей або натурних зразків автомобільного транспорту [1, 10].

Фотограмметричний метод має суттєву економічну ефективність порівняно з альтернативними рішеннями. Що стосується забезпечення точності отримання метричної інформації, то є два загальні підходи. Відрізняються вони застосуванням спеціального обладнання. Так перший підхід побудовано на застосуванні метричної камери із дальньої фотограмметрії. За визначенням метрична камера має відому внутрішню орієнтацію та каліброване радіальне спотворення [11]. Оскільки внутрішня геометрія цієї камери відома з достатньою точністю, попередня калібрування не потрібна. Фотографії, зроблені за допомогою метричних камер, можна використовувати для точних вимірювань або для відновлення на аналогових плотерах без додаткового контролю елементів внутрішньої та відносної орієнтації [12]. При другому підході використовують неметричну камеру і компенсують втрати точності відповідними математичними моделями.



Рис. 2. Побудова цифрових моделей поверхні методами ближньої фотограмметрії

У даний час на ринку цифрових неметричних камер спостерігається велике розмаїття, як професійного, так і любительського обладнання. До недоліків неметричних камер варто віднести нестабільність елементів зовнішнього орієнтування протягом періоду фотографування. Так, наприклад, несприятливе співвідношення база-висота або коливання стереокамери можуть значно знизити кінцеву точність вимірювання. До того ж обробка фотознімків, зроблених неметричними камерами, практично пов'язана з аналітичними методами, і потрібні наявності специфічного програмного забезпечення. Дані камери наділені гарними радіометричними характеристиками, але геометричні спотворення значні – дисторсія об'єктиву сягає значень 500 мкм. Тому перед тим як застосовувати камери їх необхідно калібрувати.

При порівнянні метричних та неметричних камер визначення фокусної відстані та головної точки є першочерговим інтересом. Таке порівняння виконується шляхом порівняння точності встановлення цих параметрів. Отримані результати показують, що обчислені значення залежать лише від кута зору камери та роздільної здатності тестового поля, тоді як розмір формату камери несуттєвий.

Різниця в точності між метричними та неметричними камерами менші, ніж можна було б очікувати. Значною мірою точність моделі залежить від інших факторів, ніж використання метричних або неметричних камер. Користувач неметричних камер повинен сам калібрувати камеру і повинен досліджувати відтворюваність основної точки та основної відстані. Для калібрування камер та зменшення даних фотографій потрібні складні комп'ютерні програми. Отже, це скоріше питання комфорту, ніж питання точності, чи слід використовувати метричні або неметричні камери. Але цей комфорт потребує значних капіталовкладень [12].

Оцінку точності виконують за допомогою калібрувального стенду, що включає контрольні точки із відомими координатами. Розробка і будівництво такого стенду потребує попереднього аналізу метрії приміщення і проектування виходячи з характеристик камер, на які буде виконуватись імітаційне фотографування. Розмір об'єкта або розмір тестового поля для калібрування фізично обмежені характеристиками камери.

Зусиллями науково-педагогічних працівників кафедри автомобільних доріг, геодезії, землеустрою та сільських будівель виконано такий аналіз і розроблено проектні пропозиції (рис. 3).

Особливість розробленого проекту є те, що калібрувальний стенд входить до комплексу засобів, які забезпечують навчання студентів різним методикам ближньої фотограмметрії. Виготовлено обладнання та інвентар: калібрувальні стенди (просторовий та плоский переносний); макети («боковий фасад» автомобіля; «античний портал»; «дерев'яна балка» із вантажами; «населений пункт» із навколишніми територіями). Усе це розміщено і закріплено у навчальній аудиторії. Такий підхід дозволяє на конкретних прикладах показати і навчити даним методикам студентів різних спеціальностей. Зокрема, таких як: 101 «Екологія»; 131 «Прикладна механіка»; 133 «Галузеве машинобудування»; 184 «Гірництво»; 191 «Архітектура та містобудування»; 192 «Будівництво та цивільна інженерія»; 193 «Геодезія та землеустрій»; 274 «Автомобільний транспорт».

Наявна матеріально-технічна база дозволяє в умовах лабораторії проводити навчальну та наукову роботу зі студентами. З точки зору навчального процесу розроблено комплекс лабораторних та практичних робіт:

– лабораторні роботи: калібрування неметричної цифрової камери (бакалаври спеціальностей 101, 131, 133, 184, 191, 192, 193, 274); побудова плану місцевості за одиночним цифровим фотознімком (бакалаври спеціальностей 101, 184, 192, 193); побудова топографічного плану місцевості за стереопарою (бакалаври спеціальностей 101, 184, 192, 193); обмірні роботи архітектурних об'єктів методами фотограмметрії (бакалаври спеціальностей 191); побудова цифрової моделі поверхні промислового об'єкту (бакалаври спеціальностей 274); вивчення кінематичних параметрів рухомих механізмів фотограмметричними методами (магістри спеціальності 274); вимірювання компонентів деформованого стану будівельних конструкцій методами фотограмметрії (магістри спеціальності 192);

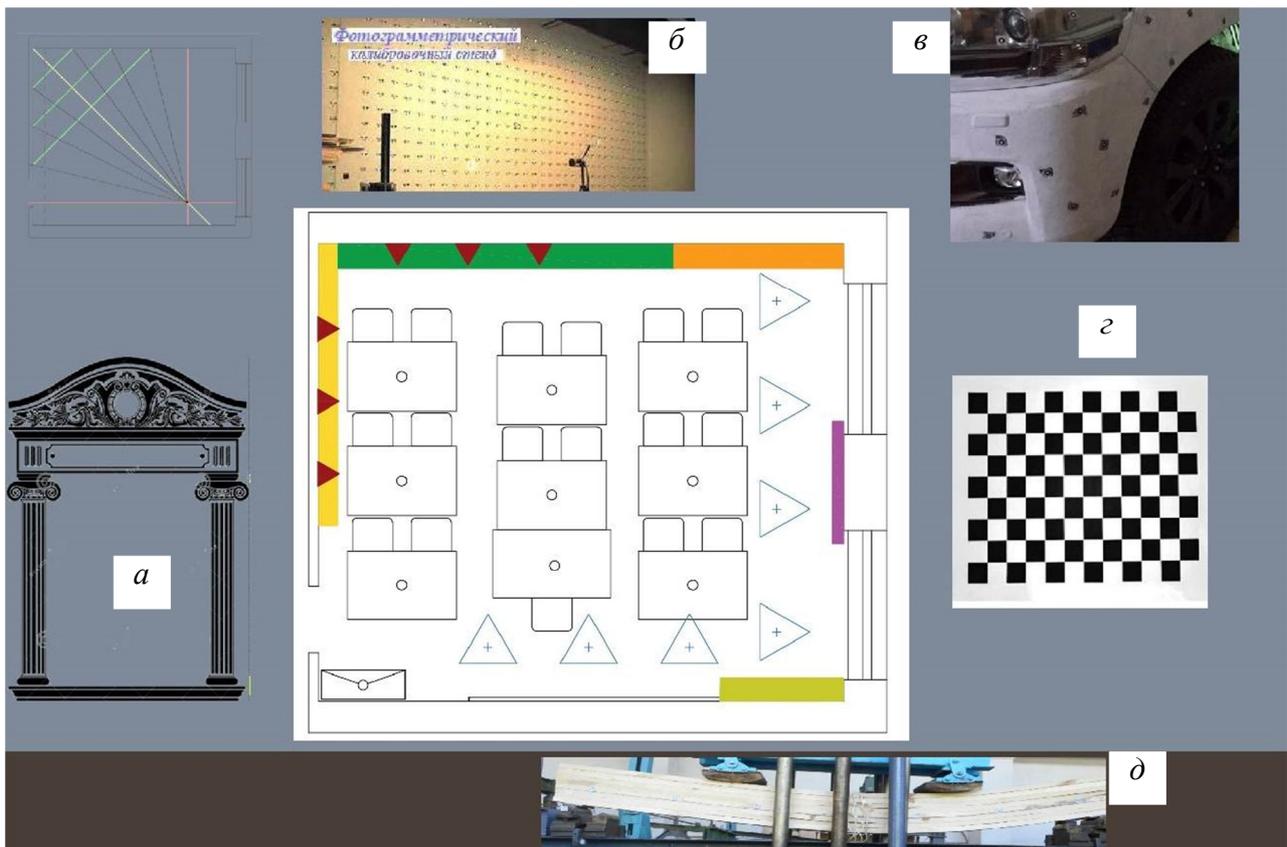


Рис. 3. Проектна пропозиція по обладнанню лабораторії фотограмметрії:
а – модель архітектурного порталу; б – просторовий калібрувальний стенд із фіксованими марками; в – елемент зовнішньої «обшивки» автомобіля; г – плоский рухомий калібрувальний стенд; д – модель стрижневої згинальної конструкції (дерев'яна клеєна балка)

– практичні роботи: обчислення поправок відхилення від ортоскопії (дисторсія) оптичної системи цифрової камери (бакалаври спеціальностей 101, 131, 133, 184, 191, 192, 193, 27); визначення фізичного розміру пікселя сенсора формування зображення (бакалаври спеціальностей 101, 131, 133, 184, 191, 192, 193, 274); підбір параметрів цифрової камери та взаємного розташування станцій знімання (бакалаври спеціальностей 101, 131, 133, 184, 191, 192, 193, 274); оцінка точності результатів фотограмметричних робіт (бакалаври спеціальностей 101, 131, 133, 184, 191, 192, 193, 274).

У плані наукових досліджень лабораторія дозволяє виконувати роботи, що відповідають тематиці наукових досліджень кафедри. Зокрема, вивчити вплив зміни фокусної віддалі на відхилення від ортоскопії (дисторсія) оптичної системи цифрової

камери; розробляти і вдосконалювати методи калібрування неметричних цифрових камер; вдосконалювати методи фотограмметрії залежно від особливостей конкретних практичних задач.

Література

1. Методическое пособие, программы и контрольная работа по курсу "Фотограмметрия" / Б. В. Краснопецев, В. М. Курков. – М.: МИИГАиК, 2012. – С. 12 – 13.
2. Єрмоленко Д.А. Об'ємний напружено-деформований стан трубобетонних елементів: Монографія // Д. А. Єрмоленко – Полтава: Видавець Шевченко Р.В., 2012. –316 с.
3. Liebold F. Sub-pixel accuracy crack width determination on concrete beams in load tests by triangle mesh geometry analysis / F. Liebold, H.-G. Maas // ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume IV-2, 2018
4. Bai-Qiao Chen. Deformation measurements in welded plates based on close-range photogrammetry / Bai-Qiao Chen, C Guedes Soares // Proc IMechE Part B: J Engineering Manufacture 2016, Vol. 230(4) 662–674.
5. Конов, С.Г. Система слежения за пространственными перемещениями подвижных узлов станков и робототехники / С.Г. Конов, А.А. Логинов, А.В. Крутов // Метрология. – 2012. – №2. – С. 10–12.
6. Самакалев С.С. Моделирование напряженно-деформированного состояния тонкостенных манометрических трубчатых пружин с переменным по длине сечением. Автореф. ... канд. техн. наук. Тюмень, 2006. – 20 с.
7. Kalisperakis I. ON MULTI-IMAGE RECONSTRUCTION FROM HISTORIC PHOTOGRAPHS / I. Kalisperakis, M. Rova, E. Petsa, G. E. Karras // XIX CIPA International Symposium, Antalya, Turkey, 30 September - 4 October 2003, pp. 216-219.
8. Пятанова Е.А. Применение методов фотограмметрии для диагностики заболеваний височно-нижнечелюстного сустава / Е. А. Пятанова, С. Г. Конов, В. П. Потапов, Л. А. Каменева // Проблеми стоматології. – Екатеринбург: УГМУ, 2017, Т. 13, № 4. – С. 50 – 55.
9. Jordi Galbany. Validation of Two Independent Photogrammetric Techniques for Determining Body Measurements of Gorillas / Jordi Galbany, Tara S. Stoinski, Didier Abavandimwe, Thomas Breuer, William Rutkowski, Nicholas V. Batista, Felix Ndagijimana, Shannon C. Mcfarlin // American Journal of Primatology 78:418–431 (2016).
10. Parmehr E.G. A COMPARATIVE EVALUATION OF THE POTENTIAL OF CLOSE RANGE PHOTOGRAMMETRIC TECHNIQUE FOR THE 3D MEASUREMENT OF THE BODY OF A NISSAN PATROL CAR / E. G. Parmehr, A. Azizi // Dept. of Geomatics and Surveying Engineering, Faculty of Engineering
11. Jordan-Eggert-Kneissel (Editor), Handbuch der Vennessungskunde, Bd. UIa/l (p. 199), Stuttgart, 1972
12. Kolbl R. Metric or Non-Metric Cameras / OTTO R. KOLBL // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 42, No.1, January 1976, pp. 103-113.