

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ АЕРОФОТОЗНІМКІВ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЦИФРОВИХ МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЄФУ

Розглянуто питання створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР) на основі матеріалів аерофотознімання. Основою слугували аерофотознімки 2008 р. на частину території Карпат, топографічна карта М 1:50 000 та ЦМР CGIAR. Після оголошення всіх необхідних параметрів у програмному продукті ERDAS Imagine (модуль LPS) отримали електронну карту перевищень території досліджень. У процесі орторектифікації вхідних аерофотозображень та створеної ЦМР отримали цифрове орторектифіковане зображення, яке придатне для проведення подальших досліджень.

Ключові слова: цифрова модель рельєфу, система координат, Leica Photogrammetry Suite, опорні точки, аерофотознімок, ортотрансформування.

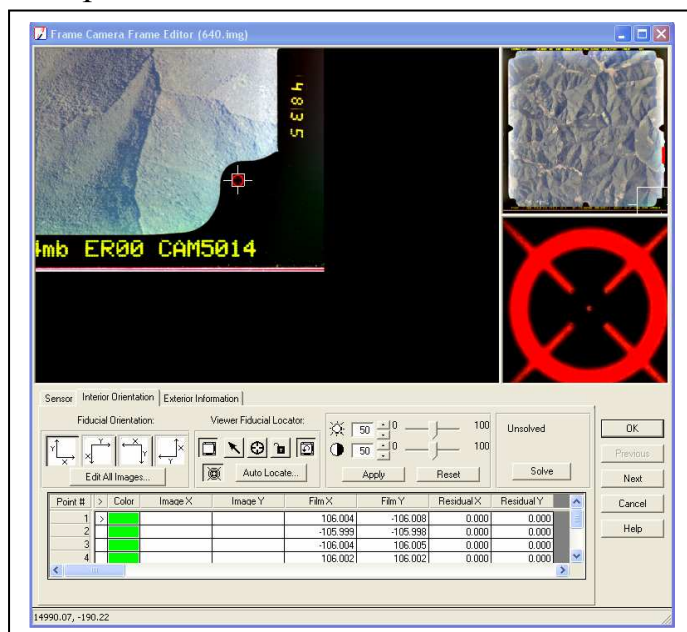
Для зображення земної поверхні у зменшеному вигляді використовують карти, схеми ЦМР (ЦМР, digital terrain model, DTM) [1, 3, 7]. Останні є комп'ютерним представленням об'єктів рельєфу у вигляді масиву точок з відомими планіметричними координатами (X та Y) і висотами точок земної поверхні. На відміну від карт та планів, де перевищення показані, як правило, горизонталями з різним перерізом (через 1, 2, 5, 10 м), на ЦМР перевищення відзначені різними рівнями спектральної яскравості. ЦМР отримують різними способами, зокрема радіометричним зніманням місцевості, яка була зроблена на всю територію поверхні Землі (крім полюсів) радаром з космічного корабля Shuttle американським космічним агентством NASA – CGIAR. Найдавнішим та найтрудомісткішим є спосіб отримання карти рельєфу шляхом механічного перенесення горизонталей з карт і схем у ГІС-програмах. Розвиток геоінформаційних технологій та дистанційного знімання забезпечили можливість створення цифрових карт з висотними відмітками (ЦМР) на основі стереопар аеро- чи космічних знімків.

Автоматизація обробки просторової інформації забезпечує аналіз не тільки просторового розміщення об'єктів, але і їх висотної прив'язки. Крім того, ЦМР дозволяють за допомогою комп'ютерної техніки та відповідного програмного забезпечення спростити отримання географічної інформації про об'єкти з їх висотним обґрунтуванням. У спеціалізованих ГІС-програмних продуктах аналіз та моделювання такої інформації дозволяє отримати різноманітні тематичні карти. Це особливо важливо для дослідження екологічних проблем та прогнозу розвитку зумовлених ними явищ (ерозії ґрунту, зміни лісистості, урбанізації територій та їх впливом на довкілля тощо). ЦМР разом з топографічними картами та даними дистанційного зондування Землі успішно використовують з інженерною метою, зокрема під час будівництва доріг, захисних споруд вздовж рік, розширення населених місць і т.д. Програма робіт передбачала обґрунтування можливості використання аерофотознімків для створення ЦМР у програмному продукті ERDAS Imagine (модуль Leica Photogrammetry Suite), з метою створення електронної версії моделі рельєфу з найвищою роздільною здатністю.

Для створення ЦМР використані аерофотознімки, зроблені у 2008 р. фотокамерою RC20, об'єктивом 15/4 UAGA-F частини території Хустського району Закарпатської області. Загалом, для проведення досліджень використано 12 аерофотознімків у 3 маршрутах. Характеристики знімальної системи, які необхідні для опрацювання аерофотознімків, такі: фокусна відстань – 152,78 мм; принципові

точки симетрії – $x=-0,007$ мм, $y=0,000$ мм, середня висота знімання – 3820 м. Параметри внутрішнього та зовнішнього орієнтування знімків отримали з Калібрувального сертифікату, який надається користувачам разом із матеріалами аерофотознімання. Для коректного опрацювання аерофотознімків необхідно враховувати спотворення, які можуть виникати на зображеннях, зокрема радіальну дисторсію лінз. Оброблення аерофотознімків виконане у програмному продукті ERDAS Imagine 9.2 (модуль Leica Photogrammetry Suite). Перед початком опрацювання аерофотознімків в менеджері проектів Leica Photogrammetry Suite (LPS) необхідно створити новий файл блоку та задати систему координат, в яку будуть геокодуватися зображення, середню висоту польоту літака під час знімання місцевості, параметри знімальної системи. У програмному продукті ERDAS Imagine є можливість використати цілий ряд систем координат. Геокодування зображень виконані у системі UTM WGS84, яка є найпоширенішою у світі та має метрову роздільну здатність, що є важливим під час опрацювання крупномасштабних матеріалів.

Як показує досвід, одночасно доцільно опрацьовувати тільки два знімки, які мають поздовжнє перекриття, оскільки під час оброблення більшої кількості знімків виникає велика середньоквадратична помилка. Завантаживши два суміжні знімки в менеджер проектів LPS, потрібно побудувати піраміду із каналів (Pyg) (для кольорового представлення зображень у RGB-форматі), задати елементи внутрішнього (Int.) та зовнішнього орієнтування (Ext.) зображень. Елементами внутрішнього орієнтування (рис. 1) для використаних аерофотознімків є по 8 крайніх точок, які позначені спеціальними мітками і визначають положення центра знімка. З максимально можливою точністю (RMSE не більше 0,33 пікселя)



для кожного знімка необхідно за чергою позначити ці точки маркерами. Якщо ж помилка буде більшою за 0,33 пікселя, то положення маркерів можна підправити до необхідної точності. Елементами зовнішнього орієнтування є координати центрів знімків, висота знімання, які вказані на кожному знімку, та параметри нахилу і повороту знімків (Omega, Phi, Kappa) [1-3, 7].

Рис. 1. Вікно встановлення елементів внутрішнього орієнтування

Після оголошення всіх параметрів двох суміжних знімків встановлюють опорні точки на стереопарі. Якщо використовують аерофотознімки у відносній системі координат (з початком у точці $x=0$ та $y=0$), необхідно мати додаткові картографічні матеріали (карту чи геокодований знімок) для подальшого переведення аерознімків у географічну систему координат. Під час роботи з крупно- чи середньомасштабними зображеннями доцільно використовувати метричну систему координат, зокрема UTM WGS84. Тому геокодування аерофотознімків проводили на основі карти масштабу 1 : 50 000 саме у цій системі координат. Для встановлення висотних відміток можна викорис-

товувати карту з нанесеними горизонталями, точки наземного спостереження з високоточним GPS-приймачем або існуючу ЦМР. Для визначення висоти опорних точок, використали останній варіант. Знімок у форматі ERDAS Imagine може мати тільки один набір GCP точок, асоційованих з ним [3, 6]. Для додаткового контролю висотної складової опорних точок, останні додатково аналізуються на основі карти з нанесеними горизонталями.

Опорні точки можуть мати різне призначення – одні можна використовувати в процесі триангуляції чи орторектифікації (Control), інші для контролю точності (Check), ще інші сполучні (Tie). Мінімальна кількість таких точок на стереопарі при афінній моделі трансформації – 3. Збір опорних точок є трудомістким процесом, проте від точності його виконання залежить точність триангуляції та орто-трансформування знімків. Ці точки найкраще розташовувати в місцях перетину доріг, на краях будівель або межових знаках земельних ділянок. Не слід задавати GCP на берегових лініях озер, краях зон рослинності чи інших подібних об'єктах, які є динамічними (рис. 2).

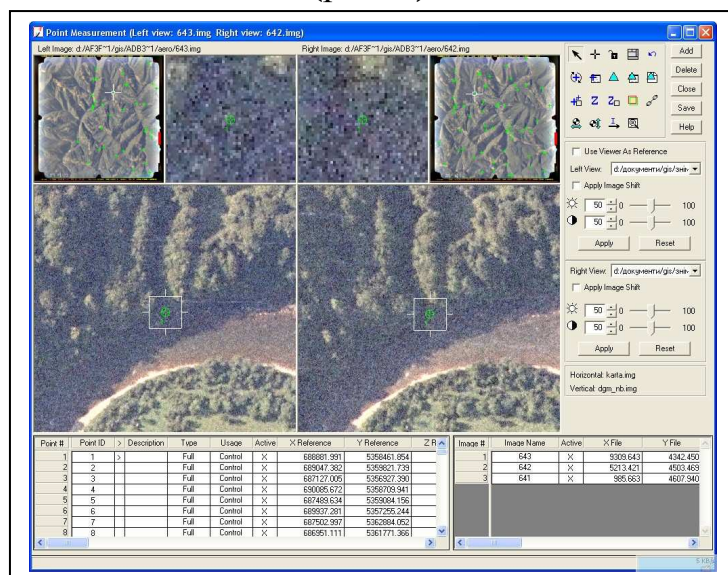


Рис. 2. Встановлення опорних точок на стереопарі знімків

Під час використання афінної моделі трансформації, для трьох точок помилка буде рівна нулю. Тому для детального аналізу опорних точок та подальшого коректного проведення триангуляції та орторектифікації необхідно задавати якомога більше точок та контролювати зміну величини середньоквадратичної помилки. Для трансформування зображення у відносних координатах, RMSE обраховують у пікселях – тобто показує нев'язку (кількість пікселів) між двома точками на знімках після процесу триангуляції. Чим вищою є середньоквадратична помилка, тим точність трансформування та орторектифікації буде меншою, а відповідно менш достовірною буде результуюча ЦМР. Тому для контролю процесу триангуляції можна скористатися звітом (Report), де показано помилки кожної опорної точки та видалити чи відредагувати ті з них, які найбільше відхиляються. Контроль встановлення таких точок можна прослідкувати за осями X та Y для кожної з них (рис. 3). Після кінцевого редагування опорних точок та отримання задовільної середньоквадратичної помилки приступають до створення ЦМР та орторектифікації знімків (рис. 4).

Точність встановлення опорних точок лімітується середньоквадратичною помилкою (Root Mean Square Error, RMSE). Показник RMSE вказує, на скільки використана трансформація (наприклад афінна чи поліноміальна модель) дозволяє точно наблизити початкову точку до кінцевої та обраховується за наступною формулою:

$$RMSE = \sqrt{(x_r - x_i)^2 + (y_r - y_i)^2}; \quad (1)$$

де: x_i, y_i – вихідні координати;

x_r, y_r – кінцеві координати.

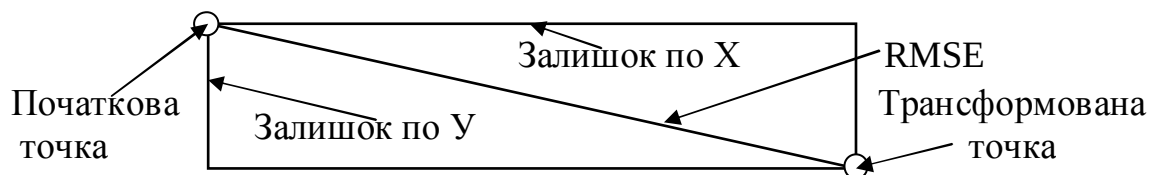


Рис. 3. Середньоквадратична помилка за осями X та Y

Для побудови ЦМР, окрім вищезгаданих операцій, необхідно задати параметри величини растру (растровий формат є найпридатніший для комп'ютерного аналізу території) та вид цифрової моделі (USGS DEM чи DTED) [6]. Величина растру лімітується просторовою роздільною здатністю аерофотознімків. Зображена на рис. 4.а цифрова модель рельєфу зроблена на основі зображень регіону дослідження та має роздільну здатність 1 м (чим вищою є точка, тим світлішим тоном вона зображується). Точність отриманої ЦМР можна оцінити на основі крупномасштабних топографічних карт, вихідних аерофотознімків чи іншої (більш детальної) цифрової моделі. Під час дослідження незначних за площею територій оцінити якість електронної моделі можна за даними наземних досліджень з використанням високоточних ГПС-приймачів чи способом тахеометричного знімання від відомої прив'язки.

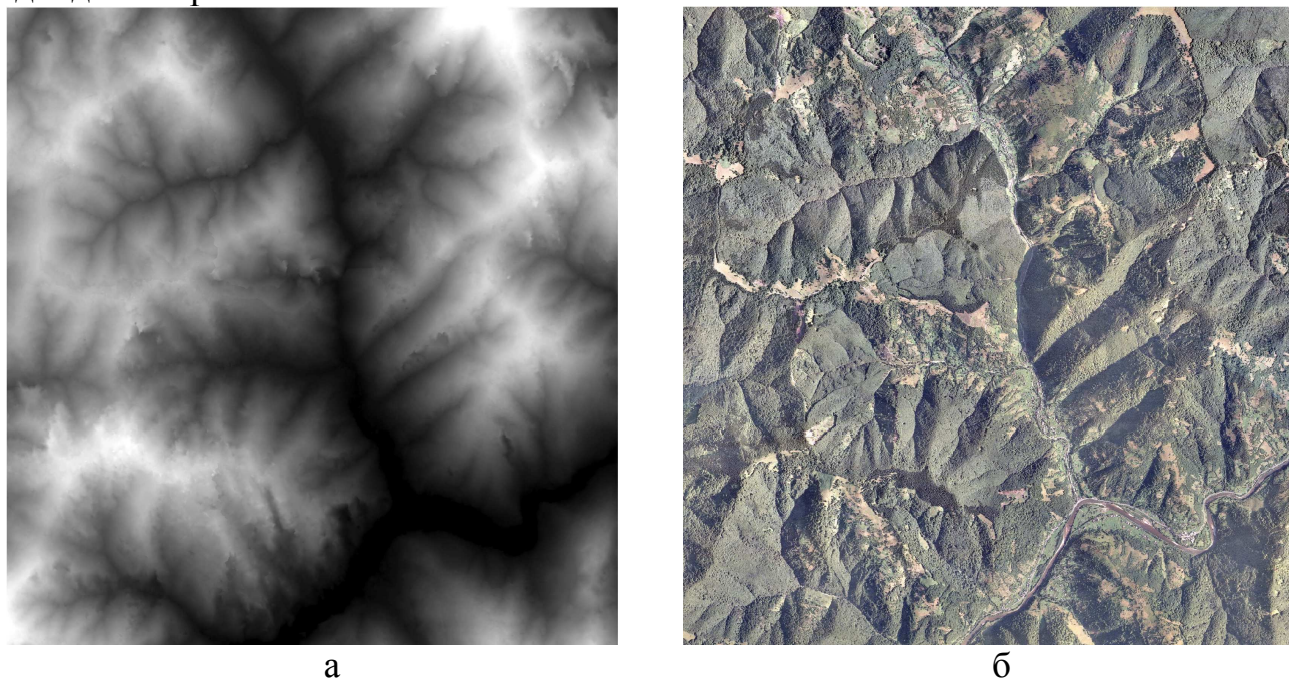


Рис. 4. Цифрова модель рельєфу (а) та орторектифіковане зображення (б)

На основі ЦМР, створеної для кожної стереопари знімків, проведено орторектифікацію – накладення аерофотознімків на ЦМР. Такі зображення використовують для точних вимірювань координат точок, створення різних ГІС-систем, оскільки вони враховують рельєф території та мають просторову географічну прив'язку. У спеціалізованих ГІС-програмах просто проводити моделювання та прогнозування різноманітних явищ на основі орторектифікованих знімків, значно підвищується точність визначення площ різних об'єктів після дешифрування.

Література

1. **Дорожинський О.Л.** Фотограмметрія: підручник / О.Л. Дорожинський, Р. Тукай. – Львів: Вид-во Національного університету «Львівська політехніка». – 2008. – 332 с.
2. **Кашкин В.Б.** Дистанционное зондирование земли из космоса. Цифровая обработка изображе-

ний: учебное пособие / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин. – М.: Логос. – 2001. – 264 с.

3. **Лисицин В.Э.** Фотограмметрия и дистанционное зондирование. Практический курс на базе программных продуктов Erdas Imagine 9.1 и Leica Photogrammetry Suite / В.Э. Лисицин. – К. – 2007. – 430 с.

4. **Новак Б.І.** Геодезія: підручник / Б.І. Новак, Г.О. Порицький, Л.П. Рафальська. – К.: Арістей. – 2008. – 284 с.

5. **Среднеквадратическая ошибка (RMSE).** – <http://www.gis-lab.info>.

6. **ERDAS IMAGINE Field Guide.**

7. **Richards J.A.** Remote sensing digital image analysis: an introduction / Richards J.A., Jia X. – Berlin; Heidelberg; New York; Barcelona; Hong Kong; London; Milan; Paris; Singapore; Tokyo: Springer. – 1999. – 363 p.

***Prof. S.I. Myklush; assoc. prof. O.H. Chaskovskyy; assist. S.A. Havrylyuk;
post-graduate V.V. Kostyshyn – NUFWT of Ukraine, L'viv***

The application of current aerophotos for creation of digital terrain models

Maps, plans, schemes are used to represent the surface of the earth. But also we can represent surface as a Digital Terrain Models (DTM). Digital Terrain Model is – three-dimensional topographic presentation of some part of Earth's surface. The excelling is representing as contour line on maps, plans and schemes but on DTM, the excelling is represented as different spectral brightness levels. DTM's are permitting to simplify receiving of geographical information about objects with elevation using computers and appropriate software. We can receive DTM using different methods: radiometric survey, analyzing stereo photo and mechanical postponement contour lines with GIS-technologies. NASA launched a radiometric satellite Shuttle and had received radiometric photos with relief – CGIAR. We used these materials as the additional data. As a base for creation of digital terrain model we used twelve aerial photographs in three routes.

The work program was intended to prove possibility of using aerial photographs for creation DTM in ERDAS Imagine (Leica Photogrammetry Suite) software. The goal of work was creation of electronic version of Digital Terrain Model with highest possible resolution. Aero photos were created by camera RC20, with objective 15/4 UAGA-F and covering the territory of part of Zakarpattja region. The descriptions of survey system are focus – 152.78 mm, principal points of symmetry – $x=0.007$ mm and $y=0.000$ mm, average height – 3820 m. The parameters of interior and exterior were received from Calibration Certificate, which was provided with aerial photographs. As experience shows, it is better to process only two shots simultaneously, which have longitudinal overlap, because while processing more photos occurs mean-square error. First of all, we need to upload pictures to LPS and need to build a pyramid of channels (Pyr) (for color image representation in RGB-format), set the elements of the internal (Int.) and external orientation (Ext.) of images. Interior orientation for data is the aerial photographs of 8 marginal points, marked with special labels to determine the position the center of the photo. The RMSE (Root Mean Square Error) must be less than 0.33 pixels. The elements of external orientation of images are the coordinates of centers of photos, elevation of photographing, as indicated on each image and parameters of tilt and rotation of images (Omega, Phi and Kappa).

After setting of these parameters, we can start setting of Control, Check and Tie Points (synonym support points). For additional geocoding of images we used topographic map (M 1 : 50 000) and CGIAR. We were working with UTM WGS 84 coordinate system. We used topographical map and CGIAR to set the elevation of Check points. Additional, we may use data, which we can receive from highly accurate GPS. Ground Control Points (GCP) – these are points, which have full collection of ground coordinates (X, Y and Z) in different coordinate systems. For additional control of Z-coordinate, we used topographical map with contour lines. The minimum number of GCP in affine model is three. Gathering of GCP is very hard and time-consuming process, accuracy of its implementation affects on the accuracy of triangulation and orthorectification processes. GCPs were gathered across the roads, at the edges of landmark buildings or land. We can't set GCPs on the bonds of rivers, lakes etc, as these points are dynamic. We have to set more GCPs and to control changing of Root Mean Square Error for correct triangulation and orthorectification. Therefore to control RMSE we can use the report of triangulation process, which shows the errors of each GCP so we may remove or edit the ones which have the greatest deviation. When we receive satisfactory accuracy, we can start creation of DTM and orto-

rectification process. In addition, we must set other parameter – spatial resolution of DTM. This resolution is limited by resolution of aerial photographs. The accuracy obtained by the digital terrain model can be estimated on the basis of large-scale topographic maps, aerial photographs or other more detailed digital model. At small areas we can verify quality of DTM using high-precision GPS receivers or using way of tacheometric removal of known binding. Based on digital terrain models created for each pair of images were executed orthorectification. Such images can be used for precise measurements of position, the creation of various GIS systems, since they account for the relief of the territory and have a spatial geographic location. In the specialized GIS software it is easy to perform modeling and forecasting of various phenomena basing on orthorectified images, significantly increases the accuracy of various objects spaces measuring after decryption.

Keywords: Digital Terrain Model, coordinate system, Leica Photogrammetry Suite, Ground Control Points, aero photo image, orthorectification.

УДК 621.86.065 *Prof. M.P. Martyntsiy; assoc. prof. O.M. Udovytshyy – NUFWT of Ukraine*

DESIGN AND ANALYSIS OF WORK OF TRANSPORT SYSTEMS WITH A FLEXIBLE HAULAGE ELEMENT

The mathematical model of transport systems with a flexible element has been developed. Analytical dependences for determination of efforts in the branches of flexible haulage element taking into account the dynamic loadings have been obtained. The analysis of the obtained dependences, which allowed to substantiate optimum rates of movement and parameters of drive of such transport systems, has been carried out.

Conveyers and suspended systems with a flexible reserved element are widely used in different branches of industry and agriculture. They have similar kinematics charts, that is why it is possible for them to develop a general mathematical model. Their basic elements are occasions, transmissions, sending blocks (drums) and haulage element, loaded with external forces, which leans against certain supporting surfaces. Between supports a haulage element sags due to loads and its own weight. Conveyers of forest and woodworking industry differ in complication of construction, power intensity, considerable inertia of hauling organs and work in heavy operating conditions [1, 2].

The suspended systems of ropes with the mobile reserved rope are widely used for the development of mountain masses with the purpose of their recreation use and wood transportation. Thus they provide conservation of ecological systems which have been formed for many ages [3, 4]. However transport and suspended systems of ropes according to the known methods are calculated for static loadings, and the calculation comes to determination of power of drive and parameters of haulage element, which are determined from the terms of durability. In the process of work of such systems, especially at starting and braking, the considerable dynamic loadings appear both in haulage elements and in the elements of drive, and also in such mode of operation drives pass a resonance area [5]. In the known works [1, 5] the models for the research of the phenomena in the machines of continuous transport have the appearance of the open systems with concentrated masses. But a haulage element is the closed circuit. It substantially influences the changing of efforts in the elements of the system, especially at the unstated mode of operation. Oscillation in the mechanical system of drive has been considered in a number of works [6, 7, 8]. For the development of mathematical model the calculation chart of fig.1 has been made.