

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ВИПУСК 64, 2017

ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Заснований у 1965 році

*Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 4185 від 10 травня 2000 р.*

У збірнику висвітлюються актуальні питання:

- теорії і практики геодезії
- інженерної геодезії
- фотограмметрії та дистанційного зондування
- геоінформаційних систем і технологій
- картографії
- землеустрою і кадастру
- містобудування і управління територіями
- прикладної математики

Постановою президії ВАК України №974 від 03 липня 2017 року збірник наукових праць «Інженерна геодезія» включено до «Переліку фахових видань України», в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор

*Затверджено до друку вченою радою Київського національного університету
будівництва і архітектури
(протокол № 7 від 27 жовтня 2017)*

**Адреса редакційної колегії:
Україна, 03037, м. Київ,
Повітрофлотський пр., 31
Тел.: +38(044)249-72-51;
+38(044)241-54-71;
+38(044)241-55-69
e-mail: eng_geodesy@meta.ua
website: geojournal.xyz**

© Київський національний університет будівництва і архітектури, 2017

УДК 528 I-62

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Головний редактор **Степан ВОЙТЕНКО**, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інженерної геодезії (Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, **Україна**)

Заступник головного редактора **Роман ШУЛЬЦ**, д-р техн. наук, професор, професор кафедри інженерної геодезії (Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, **Україна**)

Відповідальний секретар **Валентина СТРИЛЕЦЬ**, асистент кафедри інженерної геодезії (Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, **Україна**)

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ**МІЖНАРОДНІ ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ**

Чесловас АКСАМІТАУСКАС, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри геодезії і кадастру (Вільнюський державний технічний університет, Вільнюс, **Литва**)

Михайло БРИНЬ, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інженерної геодезії (Петербурзький державний університет шляхів сполучення, Санкт-Петербург, **Росія**)

Томас ЛУМАНН, д-р габлітований, професор, директор інституту (Університет прикладних наук, Інститут прикладної фотограмметрії і геоінформатики, Ольденбург, **Німеччина**)

Володимир СЕРЕДОВИЧ канд. техн. наук, професор, проректор з наукової роботи та інноваційної діяльності (Сибірський державний університет будівництва і архітектури, Новосибірськ, **Росія**)

Павел ВІЄЛГОШ д-р філософії, професор, заступник декана з досліджень та співробітництва (Вармінсько-Мазурський університет, Ольштин, **Польща**)

Хуні ФАН д-р філософії, доцент, департамент міського планування та навколишнього середовища, відділ геодезії (Шведський Королівський технологічний інститут, Стокгольм, **Швеція**)

Марко СКАІОНІ д-р філософії, професор геоматики, департамент архітектури, штучного середовища та цивільного будівництва (Міланський технічний університет «Politecnico Milano», Мілан, **Італія**)

Юджин ЛЕВІН д-р філософії, завідувач та професор кафедри інженерної геодезії Технічної школи (Мічиганський технологічний університет, Хоутон, штат Мічиган, **США**)

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ З УКРАЇНИ

Ігор ГЛАДКИХ, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри гідрографії та морської геодезії (Одеська національна морська академія, **Одеса**)

Іван ЗАЄЦЬ, канд. техн. наук, начальник управління (Науково-дослідний інститут геодезії і картографії, **Київ**)

Олег КУЧЕР, канд. техн. наук, перший заступник директора з наукової роботи (Науково-дослідний інститут геодезії і картографії, **Київ**)

Сергій МОГИЛЬНИЙ, д-р техн. наук, професор, професор кафедри геоінформатики і геодезії (Придніпровська державна академія будівництва і архітектури, **Дніпро**)

Ігор ТРЕВОГО, д-р техн. наук, професор, професор кафедри геодезії (Національний університет «Львівська політехніка», **Львів**)

Корнелій ТРЕТЯК, д-р техн. наук, професор, директор інституту геодезії (Національний університет «Львівська політехніка», **Львів**)

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ ЗАСНОВНИКА

Юрій КАРПІНСЬКИЙ, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри геоінформатики і фотограмметрії (Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, **Україна**)

Володимир КАТУШКОВ, д-р техн. наук, професор, професор кафедри геоінформатики і фотограмметрії (Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, **Україна**)

Анатолій ЛЯЩЕНКО, д-р техн. наук, професор, професор кафедри геоінформатики і фотограмметрії (Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, **Україна**)

Ольга ПЕТРАКОВСЬКА, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри землеустрою і кадастру (Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, **Україна**)

Віталій ПЛОСКИЙ, д-р техн. наук, професор, проректор з наукової роботи та міжнародних зв'язків (Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, **Україна**)

Олександр САМОЙЛЕНКО, д-р техн. наук, професор, професор кафедри інженерної геодезії (Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, **Україна**)

Володимир СТАРОВЄРОВ, канд. техн. наук, професор, професор кафедри інженерної геодезії (Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, **Україна**)

Валерій ЧИБІРЯКОВ, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри вищої математики (Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, **Україна**)

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE
Kyiv National University of Construction and Architecture

ISSUE 64, 2017

ENGINEERING GEODESY

SCIENTIFIC AND TECHNICAL COLLECTION

Founded in 1965

State Registration Certificate of print media

KV series number 4185 from May 10, 2000

The book covers topical issues in

- **theory and practice of surveying**
- **engineering geodesy**
- **photogrammetry and remote sensing**
- **geographic information systems and technology**
- **cartography**
- **land management and cadastre**
- **urban planning and management territories**
- **applied mathematics**

Decisions of the Presidium of VAC of Ukraine №974 from July 07, 2017 collection of scientific papers "Engineering geodesy" included in the "List of professional publications of Ukraine", in which can be published results of dissertations on competition doctor's degree and candidate of Science

Author is responsible for the reliability of facts, quotations and other information

*Approved for publication by the Academic Council of the Kyiv National University of Construction and Architecture
(Protocol № 7 from October 27, 2017)*

Editorial board address:

**Ukraine, 03037, Kyiv,
Povitroflotsky avenue, 31**

Tel.: +38(044)249-72-51;

+38(044)241-54-71;

+38(044)241-55-69

e-mail: eng_geodesy@meta.ua

website: geojournal.xyz

UDC 528

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief *Stepan VOYTENKO*, Dr. of Sciences, Professor, Head of Department of Engineering Geodesy (Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv, **Ukraine**)

Deputy of Editor-in-Chief *Roman SHULTS*, Dr. of Sciences, Professor, Professor Department of Engineering Geodesy (Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv, **Ukraine**)

Executive Secretary *Valentyna STRILETS*, Assistant Department of Engineering Geodesy (Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv, **Ukraine**)

EDITORIAL MEMBERS**FOREIGN EDITORIAL MEMBERS**

Cheslovas AKSAMITAUSKAS, Dr. of Sciences, Professor, Head of Department of Geodesy and Cadastre (Vilnius Gediminas technical university, Vilnius, **Lithuania**)

Michael BRYN', Dr. of Sciences, Professor, Head of Department of Engineering Geodesy (Petersburg state transport university, Saint Petersburg, **Russia**)

Thomas LUMAN, Dr. of Sciences, Professor, Head of the Institute (Jade University university of applied sciences, Institute for Applied Photogrammetry and Geoinformatics, Oldenburg, **Germany**)

Vladimir SEREDOVICH, Ph.D., Professor, Vice-rector (Siberian state university of construction and architecture, Novosibirsk, **Russia**)

Pawel WIELGOSZ, Phd, Professor, Vice-Dean for research and cooperation (University of Warmia and Mazury, Olsztyn, **Poland**)

Huaan FAN, Ph.D, Senior lecturer, Department of Urban Planning and Environment, Geodesy division (KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, **Sweden**)

Marco SCAIONI, PhD, Associate Professor on Geomatics, Department of Architecture, built environment and construction engineering (Milan Technical University "Politecnico Milano", **Italy**)

Eugene IEVIN, PhD, Chair and Associate Professor Surveying Engineering School of Technology (Michigan Technological University, **USA**)

EDITORIAL MEMBERS FROM UKRAINE

Igor GLADKIH, Dr. of Sciences, Professor, Head of Department of Hydrography and Marine Geodesy (Odessa National Maritime Academy, **Odessa**)

Ivan ZAEC', Ph.D, Director of Department (Research institute of geodesy and cartography, **Kyiv**)

Sergiy MOGIL'NIY, Dr. of Sciences, Professor, Professor Department of Geoinformation and Geodesy (Prydniprov's'ka state academy of civil engineering and architecture, **Dnipro**)

Oleg KUCHER, Ph.D, Vice Director (Research institute of geodesy and cartography, **Kyiv**)

Igor TREVOGO, Dr. of Sciences, Professor, Professor Department of Geodesy (National university «Lviv Polytechnic», **Lviv**)

Korniliy TRET'YAK, Dr. of Sciences, Professor, Director Institute of Geodesy (National university «Lviv Polytechnic», **Lviv**)

EDITORIAL MEMBERS FROM UNIVESITY

Volodymyr STAROVEROV, Ph.D., Professor, Professor Department of Engineering Geodesy (Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv, **Ukraine**)

Yurij KARPINSKIY, Dr. of Sciences, Professor, Head of Department of Geoinformation and Photogrammetry (Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv, **Ukraine**)

Volodymyr KATUSHKOV, Dr. of Sciences, Professor, Professor Department of Geoinformation and Photogrammetry (Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv, **Ukraine**)

Anatoliy LYASCHENKO, Dr. of Sciences, Professor, Professor Department of Geoinformation and Photogrammetry (Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv, **Ukraine**)

Olga PETRAKOVSKA, Dr. of Sciences, Professor, Head of Department of Land Management and Cadastr (Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv, **Ukraine**)

Vitaliy PLOSKIY, Dr. of Sciences, Professor, Vice-rector (Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv, **Ukraine**)

Olexander SAMOYLENKO, Dr. of Sciences, Professor, Professor Department of Engineering geodesy (Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv, **Ukraine**)

Valeriy CHIBIRYAKOV, Dr. of Sciences, Professor, Head of Department of Mathematics (Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv, **Ukraine**)

З М І С Т

ГЕОДЕЗІЯ

1. *В. К. Чибіряков, В. С. Староверов, З. М. Кравченко* Обґрунтування точності геодезичних робіт у висотному будівництві 7
2. *О.М. Самойленко, О. В. Адаменко, Б.П. Кукарека* Проблема відтворення еталонної горизонтальної оптичної осі під час перевірки та калібрування геодезичних приладів 18
3. *О.В. Кучер, І.С. Куриляк, В.С. Староверов, Н.К. Кошелюк* Дослідження методики трансформування геодезичних, топографо-картографічних та кадастрових матеріалів у систему координат УСК-2000 28
4. *О.М. Самойленко, С.А. Сикал* Основні принципи створення та використання колійної системи координат Укрзалізниці КСКУ-20XX 44
5. *А.П. Исаев, Р.В. Шульц, Ю.Ф. Гуляев, В.С. Стрилец* Принципы измерения осадки статически неопределимых конструкций (на примере прямолинейного вертикального стержня) 55

ГЕОІНФОРМАТИКА ТА КАРТОГРАФІЯ

6. *Н.Ю. Лазоренко-Гевель* Ініціативи EUROSDR та EUROGEOGRAPHICS щодо використання сучасних методів збирання геопросторових даних для топографічного картографування 67
7. *Т.В. Гуцул, О.В. Писаренко* Можливості геоінформаційного аналізу в дослідженнях стану геодезичного забезпечення території України для потреб дорожньої галузі 77

ФОТОГРАММЕТРІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

8. *Ю.Ю. Атаманенко* Оцінка точності визначення відстаней за результатами опрацювання аерофотознімків з БПЛА 89
9. *Л.Ю. Солом'янчук* Аналіз використання даних дистанційного зондування землі в сільському господарстві 99
10. *О.М. Гончерюк* Дослідження програмних засобів та моделей для автоматичного калібрування цифрових неметричних камер за площинними тестовими об'єктами 106

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

129

C O N T E N T S**GEODESY**

1. *V. Chibiriakov, V. Staroverov, Z. Kravchenko* Reasoning of accuracy of geodetic works in building construction 7
2. *O. Samoilenko, O. Adamenko, B. Kukareka* The problem of the indication of visual reference horizontal axis during geodetic equipment verification and calibration 18
3. *I. Kurylyak, V. Staroverov, N. Koshelyuk* Study of the method transforming existing geodesic, topographic-cartographic and cadastre materials to the USK-2000 coordinate system 28
4. *A. Samoilenko, S. Sykal* Main principles of creation and use of the collection system of coordinate of Ukrzaliznytsya KSKU-20XX 44
5. *O. Isaiev, R. Shults, Yu. Huliaiev, V. Strilets* Principles of measurement of the sedimentation of statically uncertainty constructions (on the example of the rectangular vertical rod) 55

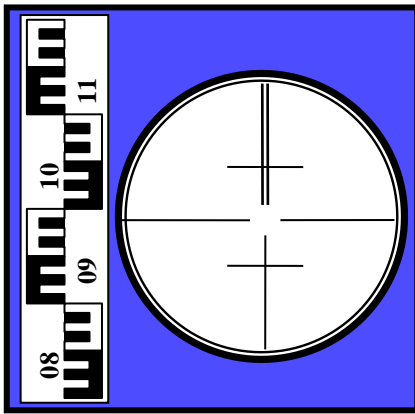
GEOINFORMATICS AND CARTOGRAPHY

6. *N. Lazorenko-Hevel* EUROS DR and EUROGEOGRAPHICS initiatives by the use of modern methods of geospatial data collection for topographic cartography 67
7. *T. Gutsul, O. Pusarenjuk* The ability of geoinformation analyze in researching the state of Ukraine's geodesic covering for road industry 77

PHOTOGRAMETRY AND EARTH REMOTE SENSING

8. *Yu. Atamanenko* Evaluation of distancesdetection accuracy by the results of air photographing processing with UAV 89
9. *L. Solomianchuk* Analysis of the use of remote sensing data in agriculture 99
10. *O. Honcheruk* Study of software and models for automatic calibration of non-metric digital cameras by the plane test objects 106

NOTED AUTHORS 129

**ГЕОДЕЗІЯ**

УДК 528.48

В. К. Чибіряков, *д-р техн. наук, професор*,
В. С. Староверов, *канд. техн. наук, професор*,
З. М. Кравченко, *асп. кафедри інженерної геодезії*
Київський національний університет будівництва і архітектури

ОБҐРУНТУВАННЯ ТОЧНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ У ВИСОТНОМУ БУДІВНИЦТВІ

У статті розглянуто методика дослідження й обґрунтування точності виконання геодезичних робіт у висотному будівництві. Методика полягає у вивченні впливу похибок виконання геодезичних, монтажних робіт і похибок визначення параметрів ґрунтової основи за допомогою моделювання напружено-деформованого стану (НДС) системи "споруда – ґрунтова основа". Наведено результат моделювання та виконано розрахунок допустимої похибки зведення висотної споруди.

Ключові слова: геодезична точність; моделювання; параметри ґрунту.

Вступ. Питання обґрунтування точності виконання геодезичних робіт під час зведення висотних споруд є актуальним. Точність виконання геодезичних робіт повинна бути обґрунтованою і забезпечувати надійну експлуатацію висотних споруд. Надійність висотних споруд залежить від фізико-механічних показників системи «споруда – ґрунтова основа»; геометричних форм, які характеризують напружено-деформований стан (НДС) всієї системи. На підставі аналізу нормативних документів можна дійти висновку, що точність виконання геодезичних робіт встановлюється на основі геометричних й імовірнісних методів оцінки впливу випадкових похибок, при цьому не беруть до уваги НДС системи, похибки моделювання НДС і похибки вихідних параметрів системи.

Постановка завдання. На наш погляд, в обґрунтуванні точності геодезичних робіт треба брати до уваги характеристики НДС системи. Загалом методика дослідження й обґрунтування точності геодезичних робіт у висотному будівництві складається з таких етапів:

1. Аналіз можливих деформацій ґрунтової основи з оцінкою точності величини деформації.

2. Вибір розрахункової моделі системи «споруда – ґрунтова основа» з метою врахування впливу на НДС випадкових похибок виконання геодезичних і монтажних робіт, а також похибок параметрів ґрунтової основи.

3. Аналіз зусиль і деформацій системи, визначення їх середніх квадратичних похибок (СКП).

4. Оцінка надійності розрахункової моделі висотної споруди, аналіз граничних станів і визначення гранично допустимої похибки просторового положення вузлів моделі.

5. Розрахунок точності геодезичних робіт.

Розглянемо більш детально кожен етап описаної вище методики обґрунтування точності геодезичних робіт у висотному будівництві.

Основна частина. Ґрунтова основа є дисперсійним середовищем, поведінка якої описується рядом фізико-механічних параметрів. Від цих параметрів залежать напруження і деформації ґрунтових масивів [1]. Оскільки фізико-механічні параметри ґрунтової основи, які визначають лабораторними та / або польовими методами і є функціями вимірних величин, треба досліджувати їх дисперсійний характер. Більш того, зразки ґрунтового масиву мають природну варіацію параметрів і досліджуються в незначному діапазоні тиску. Потрібно оцінити також усереднені значення модулів деформації, коефіцієнтів відносної стисливості, коефіцієнтів Пуассона тощо шляхом визначення СКП. Варіації модуля деформації як основного показника несучої здатності ґрунтового масиву можуть сягати 30% і більше в межах ділянки забудови, тому цьому питанню слід приділяти увагу.

Аналіз кінцевого осідання фундаменту. У моделюванні НДС системи «споруда – ґрунтова основа» однією з найбільш поширених і найбільш простою моделлю поведінки ґрунтової основи є модель Вінклера – Фусса, основною фізичною характеристикою якої є так званий коефіцієнт постелі. Оскільки коефіцієнт постелі можна визначити через величину кінцевого осідання ґрунтової основи, слід проаналізувати СКП визначення ймовірного кінцевого осідання. Одним з найбільш простих варіантів визначення кінцевого осідання ґрунтової основи є метод пошарового підсумовування. Величина осідання лінійно деформованого півпростору, обчислена за спрощеною формулою, дорівнює [2]:

$$S = 1,44 \cdot \frac{\eta}{\eta + 1} \cdot \frac{(p - \sigma_{zg,0}) \cdot b}{\sum_{i=1}^n \frac{E_i \cdot h_i \cdot z_i}{0,5 \cdot H_C^2}} \quad (1)$$

Визначимо СКП величини кінцевого осідання таким чином:

$$\left. \begin{aligned} m_{S_{E_i}}^2 &= \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial S}{\partial E_i} \right)^2 \cdot m_{E_i}^2 \\ \frac{\partial S}{\partial E_i} &= \frac{2,88 \cdot \eta \cdot b \cdot h_i \cdot z_i \cdot (\sigma_{zg,0} - p)}{H_C^2 \cdot (\eta + 1) \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{2 \cdot E_i \cdot h_i \cdot z_i}{H_C^2} \right)^2} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де η – співвідношення сторін фундаменту; p – середній тиск під подошвою фундаменту; $\sigma_{z_g,0}$ – вертикальне напруження від власної ваги ґрунту на рівні подошви фундаменту; b – ширина фундаменту; E_i – модуль деформації шару ґрунтового масиву; h_i – висота окремого шару; z_i – відстань від середини окремого шару до нижньої межі товщі, що стискається; H_c – глибина товщі, що стискається; m_{E_i} – СКП визначення модуля деформації окремого шару ґрунтового масиву; $m_{S_{E_i}}$ – загальна СКП визначення кінцевої величини осідання фундаменту висотної споруди.

Таким чином, можна оцінити СКП величини осідання ґрунтового масиву, враховуючи похибки визначення модулів деформації окремих шарів ґрунтової основи, а за потреби врахувати й інші похибки величин, що входять у формулу (1).

Розрахункова модель системи. У будівельній механіці розроблено цілу ієрархію розрахункових моделей, які дають змогу досліджувати НДС певної системи з різним ступенем точності. На основі найбільш складних розрахункових моделей виконують проектування споруд. Для оцінювання рівня НДС відповідно до поставленого в роботі завдання розрахункова модель повинна бути досить простою й одночасно адекватною. З будівельної механіки відомо, що для висотних споруд такою моделлю може бути стержнева модель. Таким чином, взято розрахункову модель у вигляді пружного стержня змінної жорсткості, який закріплений в нижній точці п'ятьма пружинами (рис. 1).

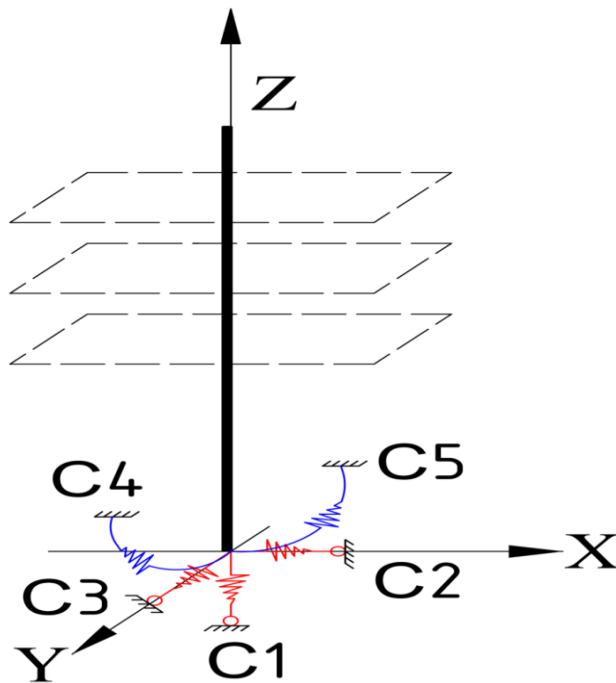


Рис. 1. Модель у вигляді стержня

Переміщення стержня обмежується п'ятьма зв'язками заданої жорсткості: одним вертикальним C1 (уздовж осі Z), двома горизонтальними C2, C3 (уздовж осей X, Y) і двома зв'язками, що працюють на крутіння (в площинах XOZ, YOZ),

які моделюють всі варіанти взаємодії споруди з ґрунтовою основою. Варіювання жорсткістю цих пружних зв'язків дає змогу взяти до уваги всі можливі варіанти закріплення стержня. Змінна жорсткість стержня відображає конструктивні отвори в несучих стінах (вікна та ін.) висотної споруди. Визначають також головні центральні моменти інерції плоского перерізу (за планами поверхів) висотної споруди.

Математичною моделлю висотного споруди і ґрунтової основи є диференціальні рівняння, записані як система диференціальних рівнянь першого порядку (форма Коші), у якій невідомі функції, які входять до них, повинні задовольняти граничним умовам:

$$\left. \begin{aligned} \frac{du}{dz} &= \frac{N}{EF(z)}; \frac{dv}{dz} = \varphi_x; \frac{dw}{dz} = \varphi_y; \frac{d\varphi_y}{dz} = \frac{M_y}{EI_y(z)}; \frac{d\varphi_x}{dz} = \frac{M_x}{EI_x(z)}; \\ \frac{dN}{dz} &= q_z; \frac{dQ_y}{dz} = 0; \frac{dQ_x}{dz} = 0; \frac{dM_y}{dz} = Q_x \pm m_y; \\ \frac{dM_x}{dz} &= -Q_y \pm m_x \end{aligned} \right\}, \quad (3)$$

де $EF(z)$ – жорсткість пружного стержня; q_z – інтенсивність поздовжнього (по вертикалі) навантаження; m_y і m_x – враховують розподілені моменти, які виникають за відцентрового додатка поздовжніх навантажень. Оскільки в розрахунковій моделі використовується значення коефіцієнта постелі C_1 , то треба визначити СКП обчислення цього коефіцієнта з урахуванням похибок визначення модулів деформації окремих шарів ґрунтової основи. Коефіцієнт постелі C_1 ґрунтової основи обчислюють за формулою [3]:

$$\left. \begin{aligned} C_1 &= \frac{E_{\text{гп}}}{H_c \cdot (1 - 2 \cdot m_{\text{гп}}^2)}; \\ E_{\text{гп}} &= \frac{H_c}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{h_i}{u_i \cdot E_i} \right)}; \quad u_i = \frac{11 \cdot z_i^2}{H_c^2} + 1; \\ m_{C_1}^2 &= \left(\frac{\partial C_1}{\partial E_{\text{гп}}} \right)^2 \cdot m_{E_{\text{гп}}}^2; \quad m_{E_{\text{гп}}}^2 = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{\partial E_{\text{гп}}}{\partial E_i} \right)^2 \cdot m_{E_i}^2 \right]; \\ \left(\frac{\partial C_1}{\partial E_{\text{гп}}} \right)^2 &= \frac{1}{H_c^2 \cdot (1 - 2 \cdot m_{\text{гп}}^2)^2}; \quad \left(\frac{\partial E_{\text{гп}}}{\partial E_i} \right)^2 = \frac{H_c^2 \cdot h_i^2}{E_i^4 \cdot u_i^2 \cdot \left(\sum_{i=1}^n u_i \right)^4}; \\ m_{C_1}^2 &= \frac{\sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{H_c^2 \cdot h_i^2}{E_i^4 \cdot u_i^2 \cdot \left(\sum_{i=1}^n u_i \right)^4} \right) \cdot m_{E_i}^2 \right]}{H_c^2 \cdot (1 - 2 \cdot m_{\text{гп}}^2)^2}, \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де $m_{тр}$ – усереднений коефіцієнт Пуассона ґрунтового масиву; u_i – поправковий коефіцієнт, що змінюється по квадратній параболі. Після визначення СКП коефіцієнта постелі m_{C_1} її можна використовувати для моделювання НДС системи «споруда – ґрунтова основа» й аналізувати вплив похибки на результати обчислень НДС.

Випадкові векторіальні похибки. Отже, розглянуто процедуру дисперсійного аналізу коефіцієнта постелі m_{C_1} і величини кінцевого осідання висотної споруди, далі слід проаналізувати вплив випадкових похибок виконання геодезичних робіт і похибок монтажу конструктивних елементів, які трапляються під час зведення висотних споруд на монтажних горизонтах. Такий підхід дає можливість досліджувати вплив випадкових похибок на НДС системи «споруда – ґрунтова основа».

На етапі проектування можна визначити СКП моделювання НДС системи і проаналізувати вплив похибок вихідних параметрів на експлуатаційні зусилля і деформації, що виникають в конструкціях.

Розглянемо принципову схему накопичення випадкових похибок у процесі зведення висотної споруди. На рис. 2 наведено найпростіший спосіб передачі планової основи. Методика полягає в передачі простої геометричної фігури на монтажний горизонт висотного споруди (базової лінії) за методом вертикального проектування базових точок з вихідного монтажного горизонту.

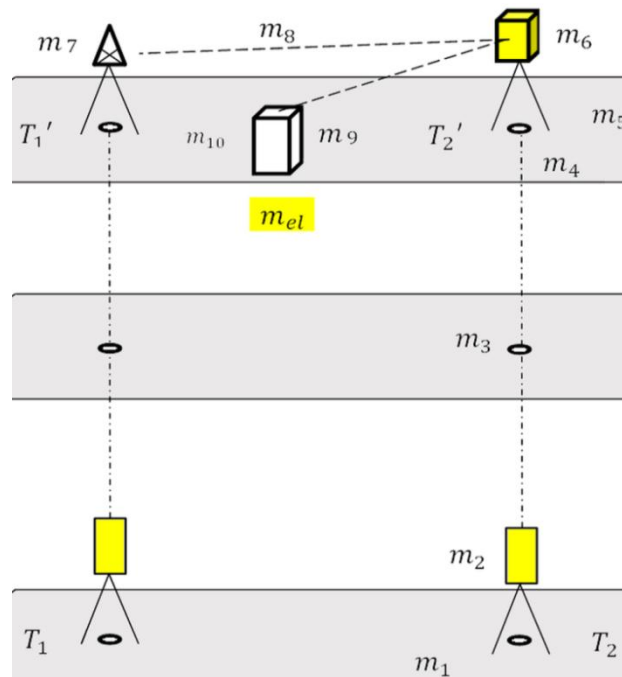


Рис. 2. Принципова схема накопичення випадкових похибок

У процесі проектування і подальшого розмічування планової основи, безумовно, трапляються випадкові геодезичні похибки. Наводимо основні векторіальні похибки: m_1 – СКП планового визначення положення точок T_1 і T_2 ; m_2 – СКП центрування приладу вертикального проектування; m_3 – СКП

вертикального проектування; m_4 – СКП фіксації точок T'_1 і T'_2 на монтажному горизонті; m_5 – СКП центрування тахеометра на монтажному горизонті; m_6 – СКП передачі позначки H_i на монтажний горизонт; m_7 – СКП центрування геодезичної марки (призми); m_8 – СКП візування геодезичної марки (призми); m_9 – СКП виносу проектних осей конструктивного елемента; m_{10} – планова СКП виконання монтажних робіт; m_{el} – сумарна СКП планово-висотного положення вузла споруди.

Для більш спрощеного і наочного варіанта дослідження впливу випадкових похибок на просторове положення конструктивних елементів висотної споруди можна припустити таке:

1. Зміщення вертикальних несучих елементів (колон, пілонів та ін.) зумовлене тільки плановими похибками, при цьому сам елемент залишається вертикальним.

2. Планові зміщення моделюють уздовж головних осей споруди.

3. Моделюють ситуацію, коли на кожному монтажному горизонті випадкова похибка по черзі змінює знак, а величина похибки є функцією від висоти споруди.

Описані вище зміщення конструктивних елементів викликають додаткові моменти в розрахунковій моделі, змінюючи при цьому характер НДС системи. Припустимо, що геометричний центр конструктивного елемента є так званим вузлом системи. Положення цього центра залежить від точності виконання розмічувальних робіт на монтажному горизонті і точності передачі планово-висотної геодезичної основи на монтажний горизонт.

Оскільки випадкові похибки мають тривимірний характер прояву, то потрібно досліджувати ймовірність попадання вузла системи в певну область, обмежену тією або іншою геометричною поверхнею. Скористаємося законом тривимірного нормального розподілу випадкової векторіальної похибки, яка характеризує ймовірність попадання вузла в еліпсоїд розсіювання певного об'єму. Якщо еліпсоїд розсіювання має однакову щільність розподілу випадкової величини уздовж головних піввісей еліпсоїда, то ймовірність попадання випадкової величини в об'єм дорівнює [4]:

$$P(V_{el}) = 2 \cdot \Phi(k) - 1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot k \cdot e^{\left(-\frac{k^2}{2}\right)} \left. \vphantom{P(V_{el})} \right\}, \quad (5)$$

$$k = \frac{a}{\sigma_x} = \frac{b}{\sigma_y} = \frac{c}{\sigma_z}$$

де k – параметр співвідношення; a, b, c – головні півосі еліпсоїда розсіювання; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ – проекції випадкової векторіальної величини на осі ортогональної тривимірної системи координат; $\Phi(k)$ – нормальна функція розподілу випадкової векторіальної величини.

Оскільки монтажні горизонти висотних споруд часом мають довгасту, асиметричну форму, а також різні застосовувані методики геодезичного

забезпечення, то еліпсоїд розсіювання може мати певну орієнтацію відносно до головних осей споруди. Отже, треба визначити параметри орієнтації еліпсоїда розсіювання [5].

Результат моделювання НДС системи. Моделювання складається з кількох етапів. Спочатку моделюють НДС системи за розрахунковими проектними даними, нехтуючи варіацію коефіцієнта постелі і похибки виконання геодезичних робіт і монтажу. Потім вносять зміни у вихідні дані на величину СКП; враховують додаткові моменти і виконують розрахунки.

У результаті моделювання НДС системи отримуємо і можемо проаналізувати такі величини:

- значення зусиль і СКП їх моделювання;
- значення переміщень вузлів і СКП їх моделювання.

Розрахунок допустимої похибки зведення висотної споруди. Для визначення несучої здатності моделі висотної споруди можна скористатися нормами розрахунку напружено-деформованого стану залізобетонних перерізів. Напругу в перерізі визначають за виразом [6]:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_c &= \frac{f_{(ck)} \cdot (k \cdot \eta - \eta^2)}{1 + (k - 2) \cdot \eta} \\ k &= \frac{1,05 \cdot E_{ck} \cdot \varepsilon_{c1,ck}}{f_{ck,prism}} \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

де $f_{(ck)}$ – нормативна міцність бетону на стиск; k – коефіцієнт; η – коефіцієнт обліку різних чинників – рекомендована величина $\eta = 1$; E_{ck} – модуль пружності бетону; $\varepsilon_{c1,ck}$ – деформація стиснення бетону; $f_{ck,prism}$ – нормативна міцність призматичного зразка.

Виразимо значення допустимої напруги в перерізі σ_n через граничний згинальний момент $M_{гран}$ і момент опору W_o відповідного перерізу:

$$M_{гран} = \sigma_n \cdot W_o = \frac{\sigma_n \cdot J_x}{y_{max}} = \frac{f_{(ck)} \cdot (k \cdot \eta - \eta^2) \cdot J_x}{(1 + (k - 2) \cdot \eta) \cdot y_{max}}, \quad (7)$$

де J_x – головний момент інерції перерізу; y_{max} – максимальне віддалення краю перерізу від центра ваги уздовж осі y . Згинальний момент в i -му перерізі висотної споруди можна записати у вигляді рівності:

$$M_i = N_i \cdot e_i, \quad (8)$$

де N_i – рівнодійна сила; e_i – ексцентриситет прикладання сили.

Оскільки поверхи висотної споруди є однотипними, то граничний допустимий момент для всіх поверхів є постійним, а значення сили N_i залежить від висоти, тоді величина ексцентриситету e_i також може змінюватися з висотою перерізу. Згинальний момент M_i у вузлі моделі (рис. 3) можна записати так:

$$M_i = N_i \cdot (e_i \mp m_{el}), \quad (9)$$

де m_{el} – сумарна СКП визначення просторового положення вузла (похибки виконання геодезичних робіт і монтажу); e_i – ексцентриситет, зумовлений креном фундаменту.

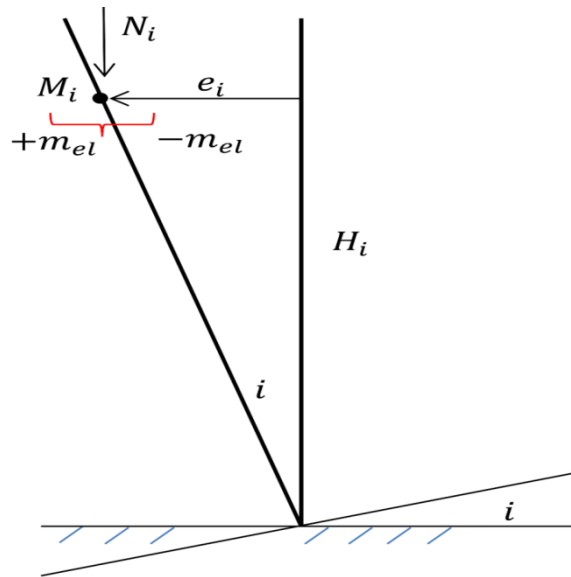


Рис. 3. Згинальний момент у вузлі

Крен висотного споруди, що залежить від крену фундаменту, можна визначити за формулою:

$$i = \frac{(1 - \nu^2) \cdot k_e \cdot N_{bl} \cdot e_{N_{bl}}}{E \cdot (a/2)^3}, \quad (10)$$

де ν – коефіцієнт поперечної деформації; E – модуль деформації ґрунту; k_e – табличний коефіцієнт; N_{bl} – рівнодіюча всіх навантажень на фундамент; $e_{N_{bl}}$ – ексцентриситет рівнодіючої всіх навантажень; a – сторона фундаменту, в напрямку якої виникає згинальний момент.

Значення змінної величини e_i можна записати так:

$$e_i = f(H) = i \cdot H_i. \quad (11)$$

Визначимо СКП значення згинального моменту у вузлі моделі:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_i = N_i \cdot ((i \cdot H_i) \mp m_{el}); \\ m_{M_i}^2 = \left(\frac{\partial M_i}{\partial e_i} \right)^2 \cdot m_{e_i}^2 + m_{el}^2 + m_{M_i(C_i)}^2; \quad \frac{\partial M_i}{\partial e_i} = N_i; \\ m_{e_i}^2 = \left(\frac{\partial e_i}{\partial i} \right)^2 \cdot m_i^2 = (H_i)^2 \cdot m_i^2; \\ m_i^2 = \left(\frac{\partial i}{\partial E} \right)^2 \cdot m_E^2 = \left(\frac{4 \cdot N_{bl} \cdot e_{N_{bl}} \cdot k_e \cdot (\nu^2 - 1)}{E^2 \cdot a^2} \right) \cdot m_E^2; \\ m_{M_i}^2 = (N_i)^2 \cdot \left((H_i)^2 \cdot \left[\left(\frac{4 \cdot N_{bl} \cdot e_{N_{bl}} \cdot k_e \cdot (\nu^2 - 1)}{E^2 \cdot a^2} \right)^2 \cdot m_E^2 \right] \right) + m_{el}^2 + m_{M_i(C_i)}^2 \end{array} \right. \quad (12)$$

де m_E – СКП визначення модуля деформації ґрунтової основи; $m_{M_i(C_i)}$ – СКП моделювання величини моменту за варіації коефіцієнта постелі моделі; m_{el} – сумарна СКП визначення просторового положення вузла; m_i – СКП визначення гіпотетичного крену фундаменту висотної споруди; m_{e_i} – СКП визначення величини ексцентриситету в i -му вузлі моделі.

Таким чином, можна проаналізувати і дослідити вплив похибок на величину гіпотетичної величини згинального моменту у вузлі моделі висотної споруди.

Запишемо критичну умову роботи перерізу:

$$M_i + m_{M_i} \leq M_{\text{гран}}. \quad (13)$$

Припустимо, що значення експлуатаційного моменту перерізу M_i і граничного згинального моменту $M_{\text{гран}}$ співвідносяться таким чином:

$$(M_i + m_{M_i}) \cdot 1,2 = M_{\text{гран}}. \quad (14)$$

Очевидно, що запас згинального моменту становить 20%. Приріст моменту ΔM можна виразити таким чином:

$$\Delta M = M_{\text{гран}} - \frac{M_{\text{гран}}}{1,2} = 0,16 \cdot M_{\text{гран}}, \quad (15)$$

$\Delta M = N_i \cdot e_{\text{гран}}$, при цьому в кожному вузлі $N_i = \text{const}$

$$0,16 \cdot M_{\text{гран}} = N_i \cdot e_{\text{гран}}, \quad (16)$$

$$e_{\text{гран}} = \frac{0,16 \cdot M_{\text{гран}}}{N_i} = \frac{0,2 \cdot (M_i + m_{M_i})}{N_i}. \quad (17)$$

Тепер потрібно виразити граничне значення ексцентриситету через складову крену ($i \cdot H_i$) і граничну величину зміщення конструктивного елемента з урахуванням похибок виконання геодезичних і монтажних робіт $\Delta_{el, \text{гран}}$:

$$\frac{0,2 \cdot (M_i + m_{M_i})}{N_i} = i \cdot H_i + \Delta_{el, \text{гран}}, \quad (18)$$

$$\Delta_{el, \text{гран}} = f(H) = \frac{0,2 \cdot (M_i + m_{M_i})}{N_i} - i \cdot H_i. \quad (19)$$

Таким чином, величина $\Delta_{el, \text{гран}}$ досліджена з урахуванням взаємної роботи висотної споруди і ґрунтової основи, урахуванням похибок можливого крену висотної споруди; похибок визначення модуля деформації ґрунтової основи і похибок безпосереднього моделювання. Порівнюючи величини $\Delta_{el, \text{гран}}$ і $|m_{el}|$, можна дійти висновку щодо потрібної точності виконання геодезичних робіт. Оскільки, m_{el} визначається сумарним впливом регламентованих ДБН В.1.3-2-2010 СКП виконання геодезичних робіт і монтажу, а величина отримана шляхом дослідження НДС системи «споруда – ґрунтова основа», то їх порівняння підлягає дослідженню.

Розрахунок точності виконання геодезичних робіт. Дослідження допустимої похибки положення вузла моделі висотної споруди свідчать про те, що на цю величину впливає цілий ряд похибок. Висотні споруди зазнають значної

напруги з боку зовнішніх факторів і власної ваги. За відцентрового прикладання нормальної сили у вузлі виникають додаткові зусилля.

Допустима СКП положення вузла $\Delta_{el,гран}$ відносно осі може бути записана так:

$$\Delta_{el,гран}^2 = m_{\Gamma}^2 + m_M^2 + m_B^2 + m_T^2 + m_{cp}^2, \quad (20)$$

де m_{Γ} – похибка лінійних і кутових геодезичних вимірювань; m_M – похибки монтажних робіт; m_B – похибки внаслідок вітрового навантаження; m_T – похибки внаслідок температурного впливу; m_{cp} – похибка статичної роботи споруди і ґрунтової основи. Якщо застосувати принцип рівного і незалежного впливу кожної похибки, отримаємо:

$$m_{\Gamma}^2 \leq \frac{\Delta_{el,гран}^2}{\sqrt{n}}, \quad (21)$$

де n – кількість джерел похибок. У той же час СКП m_{Γ} , складається з ряду геодезичних похибок $m_1, m_2, m_3 \dots m_{10}$, описаних раніше.

Висновок. Описана методика обґрунтування точності виконання геодезичних робіт у висотному будівництві дає змогу більш детально дослідити і врахувати вплив випадкових похибок на НДС системи «споруда – ґрунтова основа», а також на точність виконання геодезичних робіт.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ Б В.2.1-7-2000: Ґрунти. Методи польового визначення характеристик міцності і деформованості. – К.: Держстандарт України – 2000. – 80 с.
2. ДБН В.2.1-10-2009: Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України – 2009. – 90 с.
3. ЛИРА 9.4: руководство пользователя. Основы: учеб. пособие. Е.Б. Стрелец-Стрелецкий, В.Е. Боговис, Ю.В. Гензерский, Ю.Д. Гераймович, Д.В. Марченко, В.П. Титок. – К.:ФАКТ, 2008. – 164 с.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. / Е.С. Вентцель. – М.: НАУКА – 1969. – 576 с.
5. Абезгауз Г.Г. Справочник по вероятностным расчетам. / Г.Г. Абезгауз. – М.: Воениздат – 1970. – 536 с.
6. ДБН В.2.6-98:2009: Бетонні та залізобетонні конструкції. – К.: Мінрегіонбуд України – 2011. – 75 с.

REFERENCES

1. Hrunty. Metody polovoho vyznachennia kharakterystyk mitsnosti i deformovanosti [Soils. Methods of the field determining the strength and deformation characteristics]. (2000). DSTU B V.2.1-7-2000 from 9th October 2000. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].
2. Osnovy ta fundamenti sporud. Osnovni polozhennia proektuvannia [Basis and foundation structures. The main provisions of the design]. (2009). DBN V.2.1-10-2009 from 1st July 2009. Kyiv: Minrehionbud Ukraine [in Ukrainian].
3. Strelets-Streletskyi E. B., Bohovys V. E., Henzerskyi Yu. V., Heraimovych Yu. D., Marchenko D. V., Tytok V. P. (2008). *Rukovodstvo polzovatelja. Osnovy* [User's manual. Basics]. Kyiv: FAKT [in Russian].
4. Venttsel E.S. (1969). *Teoriia ymovirnostei [Theory of probability]*. Moscow: NAUKA [in Russian].
5. Abezghauz H.H. (1970) *Spavochnyk po veroiatnostnym raschetam* [Handbook of Probabilistic Calculations]. Moscow: Voenizdat [in Russian].
6. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii [Concrete and reinforced concrete structures]. (2011). DBN V.2.6-98:2009 from 1st June 2011. Kyiv: Minrehionbud Ukraine [in Ukrainian].

**В. К. Чибиряков,
В. С. Староверов,
З. М. Кравченко**

**ОБОСНОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ
В ВЫСОТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

В статье рассматривается методика исследования и обоснования точности выполнения геодезических работ в высотном строительстве. Методика подразумевает исследование влияния ошибок выполнения геодезических, монтажных работ и ошибок определения параметров грунтового основания с помощью моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) системы “сооружение – грунтовое основание”. Приведен результат моделирования и выполнен расчет допустимой погрешности строительства высотного сооружения.

Ключевые слова: геодезическая точность, моделирование, параметры грунта.

**V. Chibiriakov,
V. Staroverov,
Z. Kravchenko**

**REASONING OF ACCURACY OF GEODETIC WORKS IN BUILDING
CONSTRUCTION**

Research methodology and reasoning of an accuracy of geodetic works in building construction were considered. The methodology presumes an investigation of the influence of geodetic, erection work and measuring the fault of parameters of soil foundation with the help modeling of stress-strain state system “building-soil foundation”.

There has been observed that dependability of high-rise building depends on mechanical-and-physical properties system "building-soil foundation", a geometrical configuration that characterizes the stress-strain state all system.

Analysis of mechanical-and-physical properties of soil foundation with the reliability evaluation and their decision were fulfilled.

The formula for a definition of root-mean-square error slump of soil foundation depends upon determining deformation error of separate soil layer was deduced.

The calculation model system presented as elastic nail of variable rigidity with the establishment of it basic conditions was considered.

The analysis of established functional connection between models of soil foundation and building with the definition of the mean square error of calculates the value modulus of subgrade reaction was fulfilled.

Random vector errors that influence on the uniqueness definition characteristics of the stress-strain state system were considered and analyzed.

The methodology of construction the space geodetic network of building with detail analysis of all errors is represented.

The simulated result of the strain deformable system is given. The calculation of permissible error building was fulfilled.

Keywords: *geodetic accuracy; modeling; soil parameters.*

Надійшла до редакції

02.05.2017

УДК 528.48

О.М. Самойленко, *д-р техн. наук, професор,*
О. В. Адаменко, *канд. техн. наук, доцент*
Київський національний університет будівництва і архітектури
Б.П. Кукарека, *старший науковий співробітник*
ДП «Всеукраїнський науково-виробничий центр стандартизації,
метрології, сертифікації та захисту прав споживачів»
(ДП «Укрметртестстандарт»)

ПРОБЛЕМА ВІДТВОРЕННЯ ЕТАЛОННОЇ ГОРИЗОНТАЛЬНОЇ ОПТИЧНОЇ ОСІ ПІД ЧАС ПОВІРКИ ТА КАЛІБРУВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ПРИЛАДІВ

Нині у світі у виробників приладів немає єдиної технічної політики в галузі калібрування приладів для вимірювання вертикального площинного кута відносно горизонтальної площини. Для калібрування теодолітів і тахеометрів, нормована середня квадратична похибка вимірювань якими становить 0,5" або 1", потрібні еталонні прилади та методика вимірювань ними, що дало б змогу відтворювати горизонтальну оптичну вісь з розширеною невизначеністю, не більшою за 0,3". В роботі виконано опис та аналіз найбільш поширених методів, використовуваних у світі для відтворення горизонтальної візирної осі. Як показано у роботі,

застосування цих методів є недоцільним, оскільки вони або занадто важкі в реалізації, або несамодостатні, або відтворюють горизонтальну візирну вісь з недостатньою точністю. Знайти рішення цієї проблеми можна за допомогою розробленої нами самодостатньої універсальної методики калібрування будь-яких приладів для вимірювання вертикальних кутів.

Ключові слова: *еталон, горизонтальна оптична вісь, геодезичні прилади, горизонтальна площина, метрологічні характеристики, геометричні параметри, середня квадратична похибка.*

Вступ. У наш час виробники приладів не дотримуються єдиної технічної політики в галузі калібрування приладів для вимірювання вертикального площинного кута відносно горизонтальної площини. Насамперед це стосується теодолітів і тахеометрів, які під час вимірювання вертикальних кутів виконують орієнтування у просторі своїх робочих органів за допомогою сили тяжіння Землі. Фірми-виробники, сервісні центри та метрологи для перевірки або калібрування геодезичних приладів використовують різноманітні, часто саморобні пристрої, які не є самодостатніми або не відтворюють горизонтальної площини або горизонтальної оптичної осі з достатньою точністю та які зазвичай не звіряють один з одним. Для відтворення горизонтальної площини часто використовують звичайні нівеліри, які калібрують на таких самих недосконалих пристроях. Дещо поліпшує стан справ наявність автоколімаційної установки для перевірки нівелірів АУПН [7 - 10], близько 150 зразків якої експлуатується в 10 країнах на території колишнього СРСР, але точність відтворення горизонтальної візирної чи оптичної осі за допомогою цих АУПН є недостатньою (тут і далі: термін «візирна вісь» застосовується для візуальних автоколіматорів, на освітлену марку яких можна навести геодезичний прилад, а термін «оптична вісь» – для фотоелектричних автоколіматорів, які автоматично вимірюють кут на підсвічену сітку ниток геодезичного приладу або лазерний промінь).

Для калібрування теодолітів і тахеометрів, нормована середня квадратична похибка вимірювань якими становить 0,5" або 1", потрібні еталонні прилади та методика вимірювань ними, що дало б змогу відтворити горизонтальну оптичну вісь з розширеною невизначеністю, не більшою за 0,3". Проблема полягає в тому, що до останнього часу таких еталонних приладів не було. Не було також ні методики калібрування еталонів, ні принципів побудови ієрархічних схем простежуваності відтворення та передачі одиниці площинного кута в галузі його вимірювань від горизонтальної площини.

Вважаємо обговорення наших пропозицій щодо усунення названих недоліків вельми актуальним завданням.

Аналіз досліджень і публікацій. На території України та країн СНД використовують нормативно-методичні документи з визначення геометричних параметрів та метрологічних характеристик геодезичних приладів: ГОСТ 10529-96 [1], ГКИНП 17-195-85 [2], ГКИНП 17-195-99 [3], P50.2.024-2002 [6], МПУ 164/01-2003 [7]. У Європі та світі загалом використовують стандарти ISO, які гармонізовані в Україні як ДСТУ ISO 17123-3 [4] та ДСТУ ISO 17123-5 [5], але не знайшли тут широкого застосування.

У жодному з них не використовується еталонне обладнання для відтворення візирної чи оптичної горизонтальної осі (площини).

У розділі 8 «Методы испытаний» ГОСТ 10529-96 [1] описано і методики визначення середньої квадратичної похибки (СКП) вимірювань випробовуваними теодолітами, і визначення середнього квадратичного відхилення (СКВ) вимірів. СКП вимірювань обчислюють за похибками, що визначаються як різниця між вимірними й еталонними значеннями кутів, СКП яких має становити третину СКП досліджуваного теодоліта. СКВ визначають традиційно - за відхиленнями від середнього, але приймають за СКП. Це, на нашу думку, неправильно, адже СКП має також систематичну складову вимірювань, яка може у декілька разів перевищувати СКВ. Методів та засобів відтворення еталонних кутів й еталонної горизонтальної візирної осі в нормативному документі [1] не наведено.

Те саме можна сказати і про ДСТУ ISO 17123-3 [4] та ДСТУ ISO 17123-5 [5], якими не передбачено застосування будь-яких еталонів для визначення СКП та геометричних параметрів приладів. За результатами багаторазових вимірювань п'яти вертикальних кутів обчислюється тільки СКВ, що є недостатнім для оцінювання відповідності приладу нормованим метрологічним характеристикам та придатності його до застосування. Неможливість порівняння результатів вимірювань досліджуваним приладом з показаннями еталонного приладу, що відтворює горизонтальну візирну чи оптичну вісь, порушує основний метрологічний принцип простежуваності вимірювань.

Інструкцією Р50.2.024-2002 [6] рекомендовано використання запатентованого пристрою для атестації системи вимірювання вертикальних кутів теодоліта. Відповідно до цієї інструкції визначення метрологічних характеристик приладів (СКП) є можливим лише в лабораторних умовах за допомогою спеціальної установки й еталонної міри площинного кута. Цією інструкцією, однак, не передбачено визначення ключових геометричних параметрів досліджуваних приладів, зокрема систематичного зміщення вимірювань вертикального кута.

Згідно з МПУ 164/01-2003 [7], для повірки нівелірів, теодолітів і тахеометрів рекомендовано застосування еталонної установки автоколімаційної для повірки нівелірів АУПН [9; 10], в конструкції якої як робочий елемент відтворення горизонтальної візирної чи оптичної осі використовується вільна поверхня рідини (майже непрозорої моторної оливи). В старих модифікаціях АУПН передбачено застосування дзеркала і візуального автоколіматора, у новіших – фотоелектричного автоколіматора та дзеркала або прямокутної призми.

Відповідно до МПУ 142/01-2003 [8] для калібрування АУПН як еталона для відтворення горизонтальної візирної осі слід застосовувати два автоколіматори, наведені один на одного. Цю методику покладено в основу запропонованої у цій публікації. Нова методика значно переважає згадану за технологічністю та зручністю, а також за точністю. Крім того, нова методика є цілком відповідною світовій практиці в галузі метрології щодо відтворення та передачі одиниці фізичної величини та започатковує простежуваність результатів вимірювань вертикальних кутів до відповідних еталонів.

Постановка завдання. Метою роботи є розроблення теоретичних засад створення самодостатньої системи відтворення горизонтальної оптичної осі, відповідної сучасним вимогам щодо точності вимірювання та рівня автоматизації.

Основна частина. Виконаємо огляд й аналіз відомих схем відтворення горизонтальної оптичної осі.

Обладнання, яке відтворює горизонтальну оптичну вісь (площину) та/або дає можливість вимірювати відхилення від неї візирної осі геодезичного приладу, що використовується в лабораторіях фірм-виробників, сервісних центрах та калібрувальних лабораторіях, можна умовно поділити на декілька груп. Експертну оцінку переваг та недоліків цих груп приладів і методів, що реалізуються ними, виконано за певними критеріями, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Критерій оцінювання обладнання та/або методу	Обладнання для застосування методу відтворення горизонтальної візирної чи оптичної осі				
	Нівелір Ni 002 (Нівелір)	Нівелір та два автоколіматори	Автоколіматор і високоточний тахеометр	Автоколіматор і циліндричний рівень	Автоколіматор і поверхня рідини
Вартість комплексу обладнання	Низька	Висока	Висока	Середня	Середня
Самостійність відтворення	Немає	Присутня	Немає	Присутня	Присутня
Стабільність підтримання горизонтальної оптичної осі	Висока	Висока або середня	Середня	Середня	Висока
Зручність у користуванні	Середня	Низька	Висока	Низька	Висока
Рівень автоматизації відтворення і підтримання горизонтальної оптичної осі	Немає	Немає	Низький	Немає	Середній
Достатність точності відтворення і підтримання горизонтальної оптичної осі	Висока	Середня	Середня	Висока	Висока
Можливість вимірювань вертикального кута та досліджень похибки компенсатора приладу	Немає	Немає*	Немає*	Немає*	Присутня

Примітка. *Залежить від типу використовуваного автоколіматора.

Оцінювання, наведене в табл. 1, є досить умовним, проте дає змогу виконати порівняння і в першому наближенні оцінити переваги й ефективність застосовуваних методів і комплектів обладнання. Стисло висвітливо кожний з них.

Нівеліри принципово не можуть бути еталонними приладами для відтворення горизонтальної оптичної осі під час повірки та калібрування інших геодезичних приладів, тому що вони не є самодостатніми і стабільними. Певний виняток становлять нівеліри типу Ni 002, адже в них сітка ниток може повертатися спеціальною оптичною системою симетрично відносно горизонтальної площини, відтворюваної компенсатором приладу. Але нівеліром неможливо вимірювати вертикальні кути.

Випадкова складова компенсатора нівеліра Ni 002, згідно із заявленими метрологічними характеристиками, становить 0,05". Проте відповідно до рекомендацій [11] точність відтворення горизонтальної візирної осі нівеліром

№ 002 є нижчою через неоднорідність магнітного поля землі, вплив якого важко оцінити.

Класичною стала і схема, застосовувана багатьма фірмами-виробниками і сервісними центрами, коли між двома автоколіматорами, візирні або оптичні вісі яких спрямовані одна на одну, встановлюють нівелір. Таку схему часто застосовують у калібруванні метрологічних стендів, використовуваних для контролю метрологічних характеристик теодолітів і тахеометрів (рис. 1).

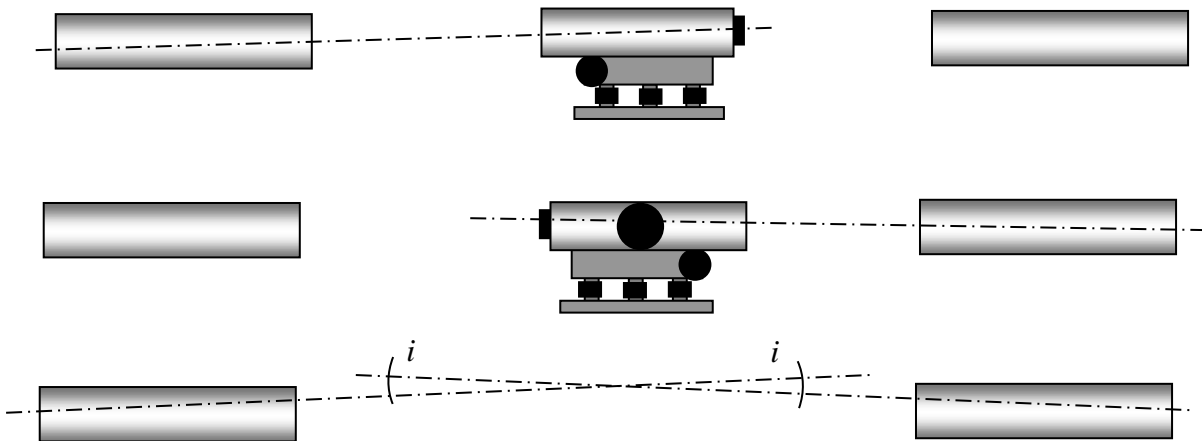


Рис. 1. Принципова схема відтворення горизонтальної візирної за допомогою двох автоколіматорів і нівеліра

Усі три засоби виміральної техніки обов'язково повинні бути сфокусовані на нескінченність. Нівелір почергово наводять на кожний автоколіматор, візирна вісь якого суміщується із сіткою ниток нівеліра у вертикальній площині. Нівелір забирають і візуально оцінюють зміщення марки другого автоколіматора відносно сітки ниток першого. Половину зміщення візуально прибирають юстуванням візирної осі першого автоколіматора, другу половину – юстуванням візирної осі другого автоколіматора, наводячи її на сітку ниток першого.

Складовими невизначеності такої процедури є систематична та випадкова складові похибки роботи компенсатора нівеліра, які можуть становити від 0,1" до 1" на 1' нахилу осі обертання приладу. З погляду класичної метрології такі прилади не можуть бути еталонними для приладів такої самої точності. Треба додати також невизначеність наведення сітки автоколіматора на сітку нівеліра від 0,3" до 0,7" та, головне, невизначеність поділу на око відстані між сітками автоколіматорів на дві рівних частини, яка може дорівнювати від 0,5" до 1,5". Невизначеність відтворення горизонтальної візирної осі за таким методом обчислюють за формулою:

$$u = \sqrt{u_k^2 + 3 \cdot u_{нав}^2 + u_{под}^2},$$

де u_k – невизначеність роботи компенсатора нівеліра; $u_{нав}$ – невизначеність наведення сітки першого і другого автоколіматора на сітку нівеліра і автоколіматорів один на одний; $u_{под}$ – невизначеність поділу на око відстані між сітками автоколіматорів.

Розраховане значення розширеної невизначеності відтворення горизонтальної візирної осі за таким методом становитиме від 0,7" до 2,2".

Схема, коли застосовують високоточний електронний тахеометр та автоколіматор для відтворення горизонтальної оптичної осі, досить поширена, але не самодостатня. В цій схемі візирна вісь автоколіматора виставляється в горизонтальне положення за допомогою тахеометра. Однак і сам тахеометр, який використовують як еталонний прилад, потрібно десь калібрувати, щоб дослідити систематичну та випадкові складові роботи його компенсатора зокрема та вимірювання вертикальних кутів загалом.

Певного поширення набула схема із застосуванням автоколіматора та високоточного рівня. Вона можлива, якщо проточений корпус автоколіматора не скріплений з ложементом, у якому він стоїть, а рівень не скріплено з автоколіматором і встановлено на ньому на спеціальній підставці (рис. 2).

За цією схемою відтворення горизонтальної візирної осі автоколіматора відбувається за умови встановлення бульбашки високоточного рівня в нуль-пункт. Похибки рівня в цій схемі компенсуються його обертанням відносно вертикальної осі на 180° .

Складовими невизначеності такої процедури є розбіжність візирної (оптичної) осі й осі зовнішнього циліндра коліматора, а також їх непаралельність. Компенсування зазначених геометричних параметрів коліматора відбувається шляхом його обертання на 180° відносно візирної осі.

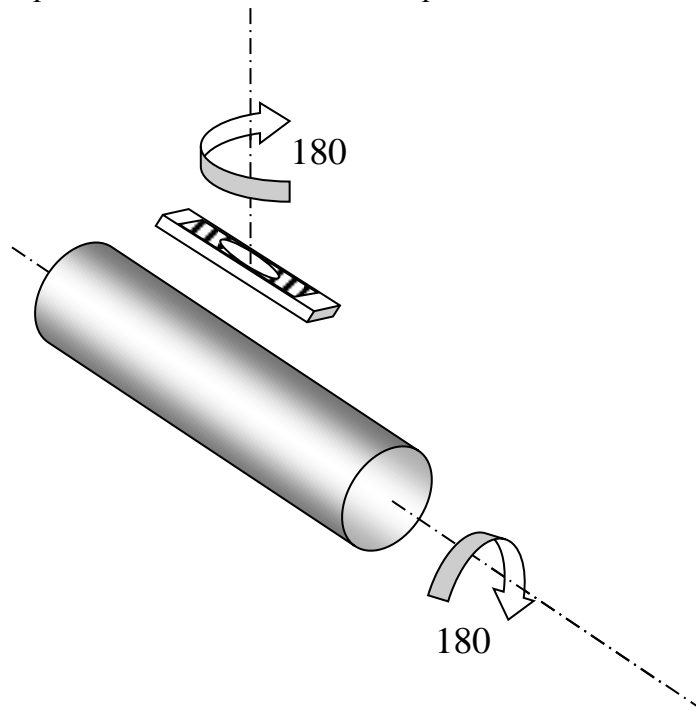


Рис. 2. Принципова схема відтворення горизонтальної візирної осі за допомогою високоточного рівня й автоколіматора

Такий комплект є самодостатнім та дає змогу відтворювати горизонтальну вісь для калібрування еталонних засобів. Проте застосування цього методу є дуже трудомісткою ручною процедурою, оскільки кожен прийом вимірювання складається з чотирьох наведень тахеометром при двох кругах (за двох положень

рівня та двох положень автоколіматора). Крім того, точність цього методу значною мірою залежить від якості виготовлення автоколіматора, ложементів та рівня, а також від впливу температурних деформацій названих пристроїв.

В Україні значного поширення набула схема, в якій як робочий елемент відтворення горизонтальної оптичної осі використовують вільну поверхню рідини. Тепер таку схему реалізовано для приладу АУПН [7; 9; 10] у двох варіантах – під час застосування автоколіматора з візуальним окуляром та фотоелектричним перетворювачем.

На нашу думку, відтворення горизонтальної візирної осі за допомогою поверхні рідини та автоколіматора з візуальним окуляром не вирішується з достатньою точністю. Тільки застосування автоколіматорів з фотоелектричним перетворювачем (ФП) може забезпечити розширену невизначеність вимірювань вертикальних кутів під час відтворення горизонтальної осі на рівні $0,2'' - 0,3''$. Викладена в роботі [7] методика перевірки (за новим законодавством – калібрування) АУПН правильна за суттю, але трудомістка і не дає змоги досягти потрібної точності.

Висновки. Зважаючи на викладене, можна стверджувати, що проблема відтворення еталонної горизонтальної візирної осі з розширеною невизначеністю, не більшою за $0,3''$, досі залишається невирішеною. Розв'язання цієї проблеми є можливим за допомогою розробленої нами самодостатньої універсальної методики калібрування будь-яких приладів для вимірювання вертикальних кутів. Обов'язкова умова реалізації методики – всі прилади повинні бути сфокусовані на нескінченність, приладів має бути не менш ніж три. Результатом буде систематичне зміщення вимірювання вертикального кута та його невизначеність за об'єктивними статистичними даними вимірювань цими приладами.

Таким чином, будь-яка фірма-виробник, сервісний центр або калібрувальна лабораторія, маючи три прилади для вимірювання вертикальних кутів, відповідних наведеним умовам, зможуть відтворювати горизонтальну площину через візирну або оптичну вісь і використовувати ці еталонні прилади для калібрування інших кутомірних приладів. Три окремі лабораторії зможуть організувати міжлабораторні порівняння результатів вимірювання вертикальних кутів, передаючи одна одній свої еталони.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *ГОСТ 10529-96*. Теодолиты. Общие технические условия, – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1997 – 24 с.
2. *ГКИНП № 17-195-85*. Инструкция на методы и средства поверки теодолитов в эксплуатации. – М: Недра, 1988. – 54 с.
3. *ГКИНП (ГНТА) № 17195-99*: Инструкция по проведению технологической поверки геодезических приборов. – М: ЦНИИГАиК, – 1999. – 56 с.
4. *ДСТУ ISO 17123-3:2006*: Оптика и оптические приборы. Методики полевых испытаний геодезических приборов и приборов для съёмки. Ч. 3. Теодолиты (ISO 17123-3:2001, IDT) – Введ. 2006-08-16. – 26 с.

5. *ДСТУ ISO 17123-5:2014*: Оптика та оптичні прилади. Польові процедури для випробування геодезичних та наглядових приладів. Ч. 5. Тахеометри (ISO 17123-5:2012, IDT) – Введ. 2006-08-16. – 20с.
6. *P50.2.024-2002*. Теодолиты и другие угломерные приборы. Методика поверки. – Н: ФГУП СНИИМ и СГГА, 2002. – 12с.
7. *Самойленко А.Н.* МПУ 164/01-2003: Метрология. Нивелиры, теодолиты, тахеометры (угломерная часть): методика поверки/ А.Н. Самойленко, В.В. Заец, А.В. Адаменко. – К.: ДП «Укрметртестстандарт», 2003. – 30 с.
8. *Самойленко А.Н.* МПУ 142/01-2003: Метрология. Установка автоколлимационная для поверки нивелиров и теодолитов АУПНТ. Методика поверки / А.Н. Самойленко, В.В. Заец, А.В. Адаменко. – К.: ДП «Укрметртестстандарт», 2003. – 16 с.
9. *Самойленко А.Н.* Метрологические характеристики и возможности модернизированной автоколлимационной установки для поверки нивелиров и теодолитов АУПНТ / А.Н. Самойленко, Ю. Ю. Глушко, Б. П. Кукарека // *Нові технології в будівництві*. – Київ: НДІБВ. – 2011. – Вип. 2 (22).
10. *Самойленко А.Н.* Опыт применения и усовершенствование установки автоколлимационной для поверки нивелиров и теодолитов АУПНТ. / А.Н. Самойленко, В.В. Заец, Б.П. Кукарека // *Матеріали міжнародної наукової конференції «Метрология и метрологическое обеспечение»*. – Минск: 2007. – С. 305 – 308.
11. *Беспалов, Ю. И.*, Лазерные маркшейдерско-геодезические измерения в строительстве / Ю. И. Беспалов, Т. Ю. Терещенко; СПбГАСУ. – СПб., 2010. – 227 с.

REFERENCES

1. HOST 10529-96. (1997) *Teodolyty. Obshchye tekhnicheskyye usloviya* [Theodolite. General specifications], – Moskva: YPK Yzdatel'stvo standartov, p. 24.
2. НКYNP # 17-195-85. (1988) *Ynstruktsyya na metody y sredstva poverky teodolytov v ekspluatatsyy* [Instructions on calibration methods and sredstva theodolites in operation]. – Moskva: Nedra, p.54.
3. НКYNP (HNTA) (1999) № 17195-99 *Ynstruktsyya po provedenyuu tekhnolohycheskoy poverky heodezycheskykh pryborov*. [Instructions for conducting technological heodezycheskykh calibration of instruments] – Moskva: TsNYUNAYK, p. 56.
4. *DSTU ISO 17123-3:2006*. (2006) *Optyka y opticheskiye prybory. Metodyky polevykh uspytanyu heodezycheskykh pryborov y pryborov dlya s'emky. Chast' 3. Teodolyty* [Optics and opticheskiye instruments. Methods polevykh heodezycheskykh trials of devices and of devices for Shooting. Part 3. Theodolite] (ISO 17123-3:2001, IDT), p. 26.
5. *DSTU ISO 17123-5:2014* *Optyka ta optichni prylady. Pol'ovi protsedury dlya vyprobuvannya heodezychnykh ta nahlyadovykh pryladiv. Chastyna 5. Takheometry* [Optics and optical instruments. Field procedures for testing geodetic and supervisory devices. Part 5. Total stations] (ISO 17123-5:2012, IDT) – Ved. 2006-08-16. – p. 20.

6. R50.2.024-2002. (2002) Teodolyty y druheye uhlomernye prybory. Metodyka poverky. [Theodolite and others angle instruments. Methods of calibration.] – N: FHUP SNYYM y S·HHA [in Russian].

7. Samoylenko A.N., Zaets V.V., Adamenko A.V. (2003) MPU 164/01-2003. Metrolohyya. Nyvelyry, teodolyty, takheometry (uhlomernaya chast'). Metodyka poverky. [Level, theodolite, total station (angle part). Methods of calibration] – Kuyv: DP «Ukrmetrteststandart» [in Russian].

8. Samoylenko A.N., Zaets V.V., Adamenko A.V. (2003) MPU 142/01-2003. Metrolohyya. Ustanovka avtokollymatsyonnaya dlya poverky nyvelyrov y teodolytov AUPNT. Metodyka poverky. [Metrology. Installing calibration collimator for level and theodolites AUPNT. Methods of calibration.] – Kiyv: DP «Ukrmetrteststandart» [in Russian].

9. Samoylenko A.N., Hlushko Yu. Yu., Kukareka B. P. (2011) Metrolohycheskye kharakterystyky y vozmozhnomy modernyzyrovannoy avtokollymatsyonnoy ustanovky dlya poverky nyvelyrov y teodolytov AUPNT. Novi tekhnolohiyi v budivnytstvi. – Kyuyiv, NDIBV, 2 (22) [in Russian].

10. Samoylenko A.N., Zaets V. V., Kukareka B. P. (2007) Opyt prymenenyaya y usovershenstvovanye ustanovky avtokollymatsyonnoy dlya poverky nyvelyrov y teodolytov AUPNT. [Experience Application installation autocollimator for calibration level and theodolites AUPNT] / // Materialy mizhnarodnoyi naukovoї konferentsiyi «Metrolohyya y metrolohycheskoe obespechenye.» (pp. 305 – 308). Mynsk [in Russian].

11. Bespalov, Yu. Y., Tereshchenko, T. Yu. (2010) Lazernye marksheydersko-heodezycheskye yzmerenyaya v stroytel'stve [laser geodetic measurements in the construction]. SPbHASU [in Russian].

А.Н. Самойленко,

А. В. Адаменко,

Б.П. Кукарека

ПРОБЛЕМА ВОССОЗДАНИЯ ЭТАЛОННОЙ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ОСИ ДЛЯ ПОВЕРКИ И КАЛИБРОВКИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ

На данный момент в мире производителей приборов не существует единой технической политики в области калибровки приборов для измерений вертикального плоского угла относительно горизонтальной плоскости. Для проведения калибровки теодолитов и тахеометров, нормированная средняя квадратическая погрешность измерений которыми составляет 0,5 "или 1", необходимы эталонные приборы и методика измерений ними, позволяющие воссоздать горизонтальную оптическую ось с расширенной неопределенностью не более 0,3.

В работе выполнено описание и анализ наиболее распространенных методов, используемых в мире для воспроизведения горизонтальной визирной оси. Как показано в работе, использование этих методов нецелесообразно. Такие методы являются либо слишком трудоемкими в реализации, или

несамодостаточними, или воспроизводят горизонтальную визирную ось с недостаточной точностью. Решение этой проблемы возможно с помощью разработанной нами самодостаточной универсальной методики калибровки любых приборов для измерения вертикальных углов.

Ключевые слова: эталон, горизонтальная оптическая ось, геодезические приборы, горизонтальная плоскость, метрологические характеристики, геометрические параметры, средняя квадратическая погрешность.

O.M. Samoilenko,
O. V. Adamenko,
B.P. Kukareka

THE PROBLEM OF THE INDICATION OF VISUAL REFERENCE HORIZONTAL AXIS DURING GEODETIC EQUIPMENT VERIFICATION AND CALIBRATION

There is no single engineering policy existing worldwide among the manufacturing companies in the field of equipment calibration designed for measuring of the vertical angle in relation to the horizontal plane. Manufacturing companies, service centers and dimensional engineers – all of them use different and even often hand-crafted verification and calibration instruments to standardize geodetic equipment that do not indicate the visual horizontal axis with the decent accuracy and they do not compare their data against each other. We need reference units indicating horizontal visual axis with expanded uncertainty not more than 0,3" and measuring procedures to carry out the calibration of the theodolites and tachymeters with the mean-square error of each comprises 0,5" or 1". The question at issue is there were no such reference units until recently. There were neither calibration procedure for the reference units, nor construction principles to the strategy of making hierarchy chart to render the unit of the plane angle in the field of its measuring from the horizontal plane.

The point of this article is in the development of the theoretical basis to the creation of the self-sustaining system of indication of the visual horizontal axis that corresponds to the modern demands of the data accuracy and automation level. This article includes the description and analysis of the most accepted methods of indication of the visual horizontal axis in the world. These methods are either too tough to use, or they not self-sustained, or do not have the adequate level of accuracy, and as the result it is inappropriate to use them further. To solve this problem we need to generate a self-sustained universal procedure of calibration to all types of equipment for vertical angles measuring.

Key words: standard, horizontal optical axis, geodetic instruments, horizontal plane, metrological characteristics, geometric parameters, mean square error.

О.В. Кучер, канд. техн. наук,

І. С. Куриляк, канд. техн. наук,

НДІ геодезії і картографії

В. С. Староверов, канд. техн. наук,

професор кафедри інженерної геодезії

Н. К. Кошелюк, студентка кафедри інженерної геодезії

Київський національний університет будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ ТРАНСФОРМУВАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ, ТОПОГРАФО-КАРТОГРАФІЧНИХ ТА КАДАСТРОВИХ МАТЕРІАЛІВ У СИСТЕМУ КООРДИНАТ УСК-2000

Розглянуто основні вимоги до трансформування координат, методи трансформування координат та фактори, які впливають на якість трансформування.

Детально досліджено трансформування координат за методом скінченних елементів, а саме створення трансформаційного поля у вигляді TIN-моделі та GRID-моделі. Визначено властивості цих моделей та встановлено їх відповідність основним вимогам створення трансформаційного поля.

Як приклад наведено алгоритм створення трансформаційного поля м. Одеса для переходу від координат, визначених в місцевій системі координат, утвореної від СК-42, до системи координат УСК-2000.

Ключові слова: *система координат, трансформування, трансформаційне поле.*

Вступ. Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України «Деякі питання застосування геодезичної референцної системи координат» виконання топографо-геодезичних та картографічних робіт, починаючи з 1 січня 2007 р., здійснюється із застосуванням Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000, яка є похідною від Міжнародної земної референцної системи ITRS/ITRF2000.

Для впровадження та застосування УСК-2000 в топографо-геодезичній галузі однією з основних задач є встановлення зв'язків з місцевими системами координат та переведення картографічних матеріалів до сучасної координатної основи. Вирішити поставлене завдання можна разом з реконструкцією міських і місцевих геодезичних мереж.

Останніми роками завдяки використанню ГНСС-технологій можливою є фактична заміна класичних геодезичних систем типу СК-42 на однорідні і точніші реалізації Міжнародної земної референцної системи ITRS. Крім того, у зв'язку з побудовою комбінованих геодезичних мереж на базі сумісної обробки ГНСС та класичних наземних даних триангуляцій розв'язання такої задачі, як перехід від планових координат локальної системи (LRS) до геоцентричної (WGS84/ITRF) системи координат, стало одним з нагальних завдань геодезії [2].

Одним з основних завдань для координатної основи України є перетворення координат та переведення наявних картографічних матеріалів в

місцевій системі координат, утвореній від СК-42, у Державну геодезичну референцну систему координат УСК-2000, що є похідною від Міжнародної земної референцної системи ITRS/ITRF2000, або навпаки.

Аналіз досліджень і публікацій. Питанням дослідження у цій сфері займається Науково-дослідний інститут геодезії і картографії. Автори публікацій [1; 2; 4; 5] досліджують методи переходу від однієї системи координат до іншої та їх точність. В роботах [1; 2] описано метод трансформування координат за методом скінченних елементів, котрий застосовується у багатьох країнах та дає найточніші результати. Досвід інших країн у цьому питанні розглянуто в джерелах [7; 8].

Постановка завдання. Метою статті є дослідження методики трансформування координат точок землевпорядних, топографо-геодезичних, містобудівних та інших картографічних матеріалів з місцевої системи координат, утвореної від СК-42, до системи координат УСК-2000.

Основна частина. Одним з принципів використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 є застосування строгих математичних методів забезпечення координатних операцій з перетворення та трансформування координат від малоточних систем координат до високоточних.

Координатна операція – це зміна координат з дотриманням принципів типу «один до одного», «від однієї референцної системи координат до іншої». Операція охоплює процеси координатного перетворення і координатного трансформування. Координатне перетворення (англ. «coordinate conversion») виконують у випадках, коли відомі теоретичні (точні) значення вихідних параметрів. Трансформування координат (англ. «coordinate transformation») виконують, коли теоретичні (точні) значення параметрів перетворення координат є невідомими і їх потрібно знайти інтерполяванням або апроксимацією таблично заданих функцій за опорними точками.

На основі досліджень вітчизняних учених виявлено неоднозначність спотворень під час переходу від системи координат СК-42 та її похідних до системи координат УСК-2000, що вирішується через трансформаційне поле, оскільки інформація про деформації в процесі зміни координат погано піддається математичному опису.

Параметри трансформування координат із системи в систему визначають за суміщеними точками, координати яких визначені в обох системах координат. Якість такого трансформування залежить від кількох факторів, таких як

- щільність суміщених точок;
- точність визначення координат точок;
- просторове розміщення точок;
- метод трансформування.

Вибір методів трансформування залежить від властивостей отриманих результатів. Він має сприяти досягненню мети, з якою виконують трансформування координат.

Характерною ознакою трансформування є те, що точність визначення координат суміщених точок у різних системах координат може значно відрізнятись.

З урахуванням різної точності визначення координат точок в різних системах координат можна висунути такі вимоги до трансформування координат:

- негомогенність трансформування полягає в тому, що добирають такі параметри трансформування, в яких коефіцієнти зміни масштабу по кожній осі координат є різними, що визначає неоднорідність систем координат. При цьому в результаті перетворення перерахованим координатам опорних точок вхідної системи точно встановлюються значення координат точок вихідної системи;
- неперервність (континуальність) трансформування полягає в тому, що точка, яка лежить на межі областей в одній системі координат, трансформується в точку, яка так само лежатиме на межі тих самих областей, причому її положення буде однаковим у використанні параметрів трансформування тієї чи іншої області;
- незалежність локального трансформування забезпечує послідовне локальне уточнення параметрів трансформування в областях, де щільність суміщених точок зростає, при цьому параметри трансформування в інших областях залишаються незмінними [1].

Для вирішення поставленої задачі застосовують два підходи: інтерполяцію і апроксимацію функцій. У разі використання інтерполяції треба відновити функцію F , тобто знайти таку інтерполяційну функцію f трансформування координат, яка б наближала F на її області визначення, причому її значення у вузлах інтерполяції точно збігалося б із заданими значеннями функції F :

$$f(XY) = UV. \quad (1)$$

За допомогою апроксимації досягають визначення такої аналітичної функції f трансформування координат, яка згладжує особливості табличної функції і також наближає F на її області визначення, причому її значення у вузлах інтерполяції не збігаються із заданими значеннями функції F :

$$f(XY) \neq UV. \quad (2)$$

У поставленій задачі функція F задана таблично, що визначає точкову апроксимацію, причому використовується апроксимація за методом найменших квадратів:

$$v^2 = v^T p v = (\varphi(XY) - UV)^T (p) (\varphi(XY) - UV) = \min, \quad (3)$$

де $v = (v_1, v_2, \dots, v_n)^T$ – вектор поправок у трансформовані координати; $v_i = v'_i - v_i$, v'_i – вирівняні координати; v_i – вихідні координати [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Існує багато функцій трансформування координат з однієї системи в іншу. Серед найбільш відомих є такі:

- поліноміальне трансформування;
- трансформування за методом Гельмерта;
- афінне трансформування;
- трансформування за методом скінченних елементів [4].

Поліноміальне трансформування. Найчастіше застосовують поліноміальне трансформування за методом полінома другого ступеня.

Перетворення координат за методом полінома другого ступеня виконують за формулами:

$$\begin{aligned} u &= a_5 x^2 + a_4 y^2 + a_3 xy + a_2 x + a_1 y + a_0; \\ v &= b_5 x^2 + b_4 y^2 + b_3 xy + b_2 x + b_1 y + b_0, \end{aligned} \quad (4)$$

де u, v – трансформовані координати точки; x, y – вихідні координати точки; a_i, b_i – коефіцієнти полінома.

Метод перетворення поліномом другого ступеня потребує визначення дванадцяти невідомих параметрів:

$$F = f(a_0 \ a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ b_0 \ b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4 \ b_5). \quad (5)$$

Для побудови інтерполяційного полінома другого ступеня необхідно і достатньо визначити параметри проєктивного трансформування за шістьма опорними точками. Для побудови апроксимаційного полінома другого ступеня кількість опорних точок повинна бути більшою, ніж шість, при цьому кількість надлишкових вимірів дорівнюватиме $2n - 12$.

Перетворення координат за методом третього ступеня перетворення відбувається за формулами:

$$\begin{aligned} u &= a_9 x^3 + a_8 y^3 + a_7 x^3 y^3 + a_6 x^2 + a_5 y^2 + a_4 x^2 y^2 + a_3 x + a_2 y + a_1 xy + a_0 \\ v &= b_9 x^3 + b_8 y^3 + b_7 x^3 y^3 + b_6 x^2 + b_5 y^2 + b_4 x^2 y^2 + b_3 x + b_2 y + b_1 xy + b_0, \end{aligned} \quad (6)$$

де u, v – трансформовані координати точки; x, y – вихідні координати точки; a_i, b_i – коефіцієнти полінома.

Метод перетворення поліномом третього ступеня потребує визначення двадцяти невідомих параметрів:

$$F = f(a_0 \ a_1 \ a_2 \ a_3 \ a_4 \ a_5 \ a_6 \ a_7 \ a_8 \ a_9 \ b_0 \ b_1 \ b_2 \ b_3 \ b_4 \ b_5 \ b_6 \ b_7 \ b_8 \ b_9). \quad (7)$$

Для побудови інтерполяційного полінома третього ступеня необхідно і достатньо визначити параметри проєктивного трансформування за десятьма опорними точками. Для побудови апроксимаційного полінома третього ступеня кількість опорних точок має бути більшою, ніж 10, при цьому кількість надлишкових вимірів дорівнюватиме $2n - 20$.

Трансформування за методами побудови поліномів другого чи третього ступеня виконують за наявності значних нелінійних спотворень та великої кількості опорних точок, оскільки побудова інтерполяційного полінома, як правило, не забезпечує достатньої точності трансформування, оскільки спотворення виправляються найкраще поблизу опорних точок, залишаючись значними за величиною на ділянках, де густина опорних точок є низькою.

Трансформування за методом Гельмерта. Перетворення координат з системи координат xu до uv за методом Гельмерта виконують за формулою:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = m \begin{pmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}, \quad (8)$$

де u, v – трансформовані координати точки; m – масштабний коефіцієнт; θ – кут повороту системи координат u, v відносно x, y ; x, y – вихідні координати точки; x_0, y_0 – координати початку системи координат x, y в системі координат u, v .

Таким чином, застосування методу Гельмерта потребує визначення чотирьох невідомих параметрів $F = f(x_0 \ y_0 \ \theta \ m)$. Для трансформування за інтерполяційним методом необхідно і достатньо визначити параметри Гельмерта за двома опорними точками. Для трансформування апроксимацією кількість опорних точок повинна бути більшою, ніж дві, при цьому кількість надлишкових вимірів дорівнюватиме $2n - 4$.

Трансформування за методом Гельмерта зазвичай виконують у разі невеликої кількості суміщених точок, проте воно не дає змоги досягти високої точності трансформування.

Афінне трансформування. Трансформування координат з системи координат xu до uv за методом афінного перетворення відбувається за формулою:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_x \cos \theta_x & m_y \sin \theta_y \\ m_x \sin \theta_x & m_y \cos \theta_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}, \quad (9)$$

де u, v – трансформовані координати точки; m_x, m_y – масштабні коефіцієнти; θ_x, θ_y – кути повороту системи координат u, v відносно x, y ; x, y – вихідні координати точки; x_0, y_0 – координати початку системи координат x, y в системі координат u, v .

За методом афінного перетворення потрібно визначити шість невідомих параметрів $F = f(x_0 \ y_0 \ m_x \ m_y \ \theta_x \ \theta_y)$. Для трансформування за інтерполяційним методом необхідно і достатньо визначити параметри афінного трансформування за трьома опорними точками. Для трансформування за апроксимаційним методом афінного перетворення кількість опорних точок повинна бути більшою ніж три, при цьому кількість надлишкових вимірів дорівнюватиме $2n - 6$.

За афінного перетворення лінії, які були паралельними в системі координат xu , перетворюються у паралельні лінії в системі координат uv . Трансформування за методом афінного перетворення зазвичай виконують за достатньої кількості суміщених точок.

Трансформування за методом скінченних елементів. З метою перетворення координат з однієї системи в іншу як вихідні дані розглядають різниці Δx , Δy планових координат Гаусса – Крюгера геодезичних пунктів для певної території, відомих у двох системах. Отже, можливими є два підходи:

- використання трикутних скінченних елементів на основі різниць геодезичних координат у вершинах трикутників, що дає можливість застосування методу триангуляції;
- використання прямокутних скінченних елементів, розділених на рівномірному ґраті, що зумовлює додаткову задачу – прогнозування вихідних різниць геодезичних координат з вершин трикутників у вершини прямокутників та побудову такого скінченного елемента, який забезпечує необхідну точність інтерполяції в межах кожного прямокутника.

Загальний алгоритм трансформування координат точок координат від СК-42 до УСК-2000 складається з таких етапів:

- створення інтерполяційної моделі трансформаційного поля на задану територію;
- трансформування координат за інтерполяційною моделлю трансформаційного поля.

Створення трансформаційного поля у вигляді TIN-моделі. Згідно з методом скінчених елементів трансформаційне поле розчленовують на трикутники і для кожного трикутника визначають інтерполяційні функції у спосіб афінного перетворення (рис.1).

Для поділу на трикутники (побудова TIN-моделі) обрано метод триангуляції Делоне, тобто з усіх можливих триангуляцій на наборі суміщених геодезичних пунктів обирають той варіант, де трикутники найбільш близькі до рівносторонніх, що підвищує стійкість обчислення та точність моделі.

Алгоритм створення інтерполяційної TIN-моделі трансформаційного поля охоплює:

- підготовку вихідних даних суміщених пунктів для побудови трансформаційного поля, координати яких визначені в СК-42 та УСК-2000;
- побудову TIN-моделі суміщених пунктів на задану територію;
- створення інтерполяційної TIN-моделі трансформаційного поля;
- контроль за побудовою інтерполяційної TIN-моделі трансформаційного поля.

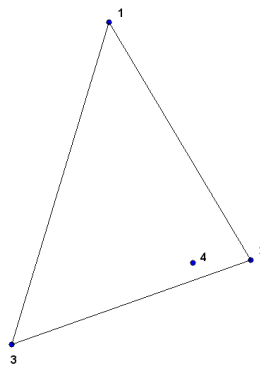


Рис. 1. Скінчений елемент інтерполяційної TIN-моделі

Для побудови інтерполяційної TIN-моделі трансформаційного поля для кожного трикутника моделі (скінченого елемента) складають і розв'язують систему із шістьох рівнянь, описуючи кожен вершину трикутника в матричному вигляді рівняннями виду:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_x \cos \theta_x & m_y \sin \theta_y \\ m_x \sin \theta_x & m_y \cos \theta_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \end{pmatrix}, \quad (10)$$

або

$$\begin{aligned} xm_x \cos \theta_x + ym_y \sin \theta_y + x_0 &= u; \\ xm_x \sin \theta_x + ym_y \cos \theta_y + y_0 &= v, \end{aligned} \quad (11)$$

де $x_0, y_0, \theta_x, \theta_y, m_x, m_y$ – інтерполяційні коефіцієнти трикутника; u, v – плоскі прямокутні координати геодезичного пункту (вершини трикутника) в системі координат УСК-2000; x, y – плоскі прямокутні координати геодезичного пункту (вершини трикутника) в системі координат СК-42.

Позначивши:

$$a_0 = x_0; a_1 = m_x \cos \theta_x; a_2 = m_y \sin \theta_y;$$

$$b_0 = y_0; b_1 = m_y \cos \theta_x; b_2 = m_y \sin \theta_y,$$

отримаємо для трикутника систему із шістьох рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} x_1 a_1 + y_1 a_2 + a_0 &= u_1 \\ x_1 b_1 + y_1 b_2 + b_0 &= v_1 \\ x_2 a_1 + y_2 a_2 + a_0 &= u_2 \\ x_2 b_1 + y_2 b_2 + b_0 &= v_2 \\ x_3 a_1 + y_3 a_2 + a_0 &= u_3 \\ x_3 b_1 + y_3 b_2 + b_0 &= v_3 \end{aligned} \right\}, \quad (12)$$

або, перегрупувавши їх по x та y , отримаємо дві незалежні системи рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} x_1 a_1 + y_1 a_2 + a_0 &= u_1 \\ x_2 a_1 + y_2 a_2 + a_0 &= u_2 \\ x_3 a_1 + y_3 a_2 + a_0 &= u_3 \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

$$\left. \begin{aligned} x_1 b_1 + y_1 b_2 + b_0 &= v_1 \\ x_2 b_1 + y_2 b_2 + b_0 &= v_2 \\ x_3 b_1 + y_3 b_2 + b_0 &= v_3 \end{aligned} \right\}. \quad (14)$$

Розв'язок цих систем рівнянь можна отримати з виразів:

$$\begin{aligned} a_2 &= G_1 / G_2 \\ a_1 &= D_2 - a_2 D_1 \end{aligned} \quad (15)$$

$$a_0 = u_1 - a_1 x_1 - a_2 y_1;$$

$$\begin{aligned} b_2 &= G_3 / G_2 \\ b_1 &= D_3 - b_2 D_1 \end{aligned} \quad (16)$$

$$b_0 = v_1 - b_1 x_1 - b_2 y_1,$$

де a_0, a_1, a_2 – інтерполяційні коефіцієнти для трансформування координати x з СК-42 в УСК-2000 в межах трикутника; b_0, b_1, b_2 – інтерполяційні коефіцієнти для трансформування координати y з СК-42 в УСК-2000 в межах трикутника; $D_1, D_2, D_3, G_1, G_2, G_3$ – допоміжні величини:

$$D_1 = (y_1 - y_2) / (x_1 - x_2);$$

$$D_2 = (u_1 - u_2) / (x_1 - x_2);$$

$$D_3 = (v_1 - v_2) / (x_1 - x_2);$$

$$G_1 = D_2(x_1 - x_3) - (u_1 - u_3);$$

$$G_2 = D_1(x_1 - x_3) - (y_1 - y_3);$$

$$G_3 = D_3(x_1 - x_3) - (v_1 - v_3).$$

Якщо $x_1 = x_2$, то $x_1 - x_2 = 0$ – у формулах це ділення на 0. Для обчислення величин D_1, D_2, D_3 це слід врахувати.

Для контролю побудови інтерполяційної TIN-моделі трансформаційного поля за знайденими коефіцієнтами за формулою (17) визначають координати вершин трикутників в УСК-2000 і порівнюють із заданими:

$$\Delta = u_0 - u_3, \quad (17)$$

$$\Delta = v_0 - v_3, \quad (18)$$

де u_0, v_0 – обчислені координати вершини трикутника в УСК-2000; u_3, v_3 – задані координати вершини трикутника в УСК-2000.

Для афінного трансформування за методом скінченних елементів характерні такі властивості:

- визначення параметрів трансформування для кожного трикутника залежить тільки від координат вершин трикутника;
- у процесі трансформування координат кожна точка (вершина трикутника) в одній системі координат точно «переходить» в ідентичну точку (вершину трикутника) в іншій системі координат;
- трансформування є неперервним, оскільки точки, які лежать на ребрах трикутників в одній системі координат, трансформуються в точки, які лежать на ребрах перетворених трикутників в іншій системі координат, незалежно від того, які при цьому використано параметри трансформування суміжних трикутників;
- збільшення кількості та щільності суміщених точок у деяких областях викликає тільки локальне уточнення параметрів трансформування, причому параметри трансформування в інших областях залишаються незмінними.

Створення трансформаційного поля у вигляді GRID-моделі. У наш час у багатьох країнах вдаються до практики переходу від однієї системи координат до іншої за допомогою методу, який ґрунтується на ґріді, – методу національного перетворення, версія 2 (National Transformation version 2 – NTv2). Набір бінарних файлів містить різниці між двома системами координат. Для обчислення точних значень для кожної точки застосовують метод білінійної інтерполяції [7].

NTv2 – це файл з описом бінарної сітки з розширенням .gsb. Цей формат описує двовимірне (2D) трансформування, в якому не використовується третя координата – висота [8].

Отже, з огляду на світову практику доцільним є створення трансформаційного поля у вигляді GRID-моделі.

У такому разі згідно з методом скінченних елементів трансформаційне поле поділяють на чотирикутні скінченні елементи.

Задачу з побудови трансформаційного поля у вигляді GRID-моделі розв'язують шляхом побудови регулярного масиву значень $\Delta x, \Delta y$ вузлових точок по нерегулярному масиву (x, y) -координат, а потім визначають інтерполяційні коефіцієнти для трансформування координат для кожного скінченного елемента.

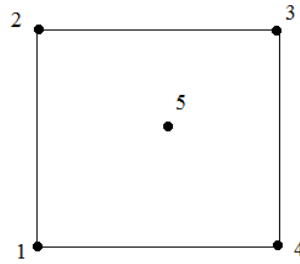


Рис. 2. Скінчений елемент
інтерполяційної GRID-моделі

Термін «нерегулярний масив координат» означає, що x , y – координати точок, розподілені по області карти нерівномірно. Для створення трансформаційного поля потрібен регулярний масив вузлових точок. Такий обов'язковий поділ прямокутних елементів на рівномірному ґріді призводить до додаткової задачі прогнозу вихідних різниць геодезичних координат заданих хаотично у вершини прямокутників (рис. 3) для можливості використання базисної функції, яка б забезпечила необхідну точність інтерполяції в межах кожного прямокутника.

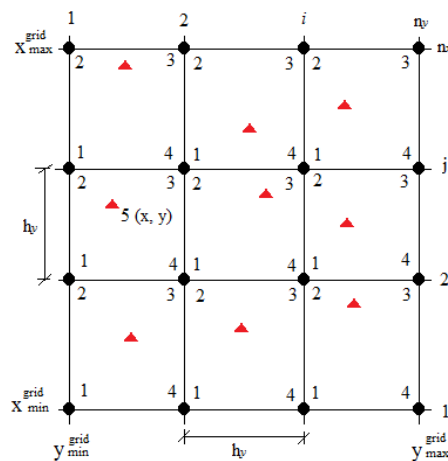


Рис. 3. Регулярна сітка

Алгоритм створення інтерполяційної GRID-моделі трансформаційного поля:

- підготовка вихідних даних суміщених пунктів для побудови трансформаційного поля, координати яких визначені в СК-42 та УСК-2000;
- побудова регулярного масиву вузлових точок – GRID;
- створення інтерполяційної GRID-моделі трансформаційного поля;
- контроль за побудовою інтерполяційної GRID-моделі трансформаційного поля.

У потужних ГІС-продуктах побудувати регулярний масив вузлових точок можна за допомогою алгоритмів, кожному з яких властива певна процедура інтерполяції даних:

- крігінг (Kriging);
- обернено зважена відстань (Inverse Distance to a Power);
- сплайн (Spline)
- найближчий сусід (Natural Neighbor) тощо.

Найкращий лінійний прогноз проміжних значень дає метод крігінгу.

Крігінг належить до геостатистичних методів, оснований на статистичних моделях, що містять аналіз автокореляції (статистичні залежності між вимірюваними точками). За допомогою геостатистичних методів можна не тільки створювати поверхню прогнозованих значень, а й отримувати деякі виміри достовірності (точності) прогнозованих значень.

Використання крігінгу передбачає, що відстань (напрямок) між опорними точками відображає просторову кореляцію, яка може бути використана для пояснення змін на поверхні. У цьому методі використано математичну функцію для певної кількості точок або всіх точок в межах заданого радіуса, для того щоб визначити вихідне значення для всіх напрямків. Крігінг – покроковий процес; він охоплює пошуковий статистичний аналіз даних, моделювання варіограм, створення поверхні та (додатково) вивчення поверхні дисперсії. Застосування крігінгу є доцільним, коли відомо, що є просторово корельована відстань або спрямована зміна в даних.

За методом крігінгу виконують дві групи завдань:

- кількісне визначення просторової структури даних;
- створення прогнозу.

Кількісне визначення просторової структури даних, відоме як побудова варіограм, дає можливість дібрати до даних модель просторової залежності. Для розрахунку (прогнозу) невідомого значення змінної в заданому місці крігінг буде використовувати відповідну (дібрану) модель варіограми, конфігурацію просторових даних і значення в точках вимірювання навколо заданого місця.

Крігінг зважає наколишні вимірювані значення, щоб отримати прогноз для невимірюваного місцеположення. Оцінка значення просторової змінної Z в деякій точці, в якій не виконано вимірювання, визначають за формулою:

$$\hat{z}(S_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(S_i), \quad (19)$$

де $Z(s_i)$ – вимірюване значення місцеположення i ; λ_i – невідома вага для вимірюваного значення в місцеположенні i ; s_0 – місцеположення прогнозу; n – кількість вимірюваних значень.

Отже, n ваг λ_i є рішенням системи крігінгу.

Після створення регулярної сітки створюють інтерполяційну модель трансформаційного поля шляхом інтерполювання значень у найближчих вузлах відносно клітинки сітки, в яку потрапляє точка з невідомим значенням функції.

Завдання побудови інтерполяційної GRID-моделі трансформаційного поля зводиться до використання обраного методу інтерполювання функції двох змінних. Для визначення точних значень для кожної точки в межах скінченного елемента застосовують метод білінійної інтерполяції – лінійну інтерполяцію функції двох змінних, тобто інтерполяцію за чотирма точками.

Основна ідея полягає в тому, щоб виконати лінійну інтерполяцію спочатку в одному напрямку, а потім – в іншому. Потрібно знайти значення невідомої функції f у точці $(x, y) = Z$. Передбачається, що відомими є значення f у чотирьох точках $T1(x_1, y_1)$, $T2(x_2, y_1)$, $T3(x_2, y_2)$ і $T4(x_1, y_2) = Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$ відповідно.

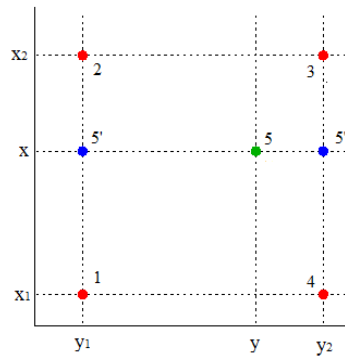


Рис. 4. Схема білінійної інтерполяції значень поправок з вершин скінченного елемента в задану точку

Спочатку виконують лінійну інтерполяцію в x -напрямку:

$$f(x, y_1) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Z_1) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Z_2); \quad (20)$$

$$f(x, y_2) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Z_4) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Z_3). \quad (21)$$

Потім виконують інтерполяцію у напрямку y :

$$\begin{aligned} Z \approx f(x, y) &\approx \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(x, y_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(x, y_2) = \\ &= \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} \left(\frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Z_1) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Z_2) \right) + \\ &\quad + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \left(\frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Z_4) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Z_3) \right) = \\ &= \frac{1}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} (f(Z_1)(x_2 - x)(y_2 - y) + f(Z_2)(x - x_1)(y_2 - y) + \\ &\quad + f(Z_4)(x_2 - x)(y - y_1) + f(Z_3)(x - x_1)(y - y_1)); \end{aligned} \quad (22)$$

$$Z \approx f(x, y) \approx \frac{1}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} [x_2 - x \quad x - x_1] \begin{bmatrix} Z_1 & Z_4 \\ Z_2 & Z_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_2 - y_1 \\ y - y_1 \end{bmatrix}. \quad (23)$$

Якщо виконувати інтерполяцію спершу по напрямку y , а потім по напрямку x , результат буде такий самий.

Також можна записати:

$$Z \approx f(x, y) \approx a_0 + a_1 x + a_2 y + a_3 xy. \quad (24)$$

Рівняння розв'язують, знаходячи інтерполяційні коефіцієнти.

Коефіцієнти визначають, розв'язавши лінійну систему:

$$\begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & x_1 y_1 \\ 1 & x_2 & y_1 & x_2 y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & x_2 y_2 \\ 1 & x_1 & y_2 & x_1 y_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \\ Z_4 \end{bmatrix}, \quad (25)$$

де a_0, a_1, a_2, a_3 – інтерполяційні коефіцієнти для визначення поправки Z для переходу від координат, визначених в СК-42, до координат в УСК-2000 для точки в межах скінченного елемента:

$$a_0 = \frac{Z_1}{(x_1 - x_2)(y_1 - y_2)} + \frac{Z_4 x_2 y_1}{(x_1 - x_2)(y_2 - y_1)} + \frac{Z_2 x_1 y_2}{(x_1 - x_2)(y_2 - y_1)} + \frac{Z_3 x_1 y_1}{(x_1 - x_2)(y_1 - y_2)}; \quad (26)$$

$$a_1 = \frac{Z_1 x_2}{(x_1 - x_2)(y_2 - y_1)} + \frac{Z_2 x_2}{(x_1 - x_2)(y_1 - y_2)} + \frac{Z_2 x_1}{(x_1 - x_2)(y_1 - y_2)} + \frac{Z_3 x_1}{(x_1 - x_2)(y_2 - y_1)}; \quad (27)$$

$$a_2 = \frac{Z_1}{(x_1-x_2)(y_1-y_2)} + \frac{Z_4}{(x_1-x_2)(y_2-y_1)} + \frac{Z_4}{(x_1-x_2)(y_2-y_1)} + \frac{Z_3}{(x_1-x_2)(y_1-y_2)}; \quad (28)$$

$$a_3 = \frac{Z_1 y_2}{(x_1-x_2)(y_2-y_1)} + \frac{Z_4 y_1}{(x_1-x_2)(y_1-y_2)} + \frac{Z_2 y_2}{(x_1-x_2)(y_1-y_2)} + \frac{Z_3 y_1}{(x_1-x_2)(y_2-y_1)}. \quad (29)$$

Якщо представити допоміжні величини D_1 , D_2 у вигляді:

$$D_1 = (x_1 - x_2)(y_1 - y_2);$$

$$D_2 = (x_1 - x_2)(y_2 - y_1),$$

то формули (26)-(29) набудуть такого вигляду:

$$a_0 = \frac{Z_1}{D_1} + \frac{Z_4 x_2 y_1}{D_2} + \frac{Z_2 x_1 y_2}{D_2} + \frac{Z_3 x_1 y_1}{D_1}; \quad (30)$$

$$a_1 = \frac{Z_1 x_2}{D_2} + \frac{Z_4 x_2}{D_1} + \frac{Z_2 x_1}{D_1} + \frac{Z_3 x_1}{D_2}; \quad (31)$$

$$a_2 = \frac{Z_1}{D_1} + \frac{Z_4}{D_2} + \frac{Z_2}{D_2} + \frac{Z_3}{D_1}; \quad (32)$$

$$a_3 = \frac{Z_1 y_2}{D_2} + \frac{Z_4 y_1}{D_1} + \frac{Z_2 y_2}{D_1} + \frac{Z_3 y_1}{D_2}. \quad (33)$$

Для контролю побудови інтерполяційної GRID-моделі трансформаційного поля за знайденими коефіцієнтами за формулами (30)-(33) визначають поправки у вершинах чотирикутника і порівнюють із заданими:

$$\Delta = Z_0 - Z_3, \quad (34)$$

Для трансформування за допомогою GRID-моделі характерні такі властивості:

- функція (24) – лінійна вздовж всіх сторін прямокутника, завдяки цьому можливим є неперервний перехід від одного прямокутника до наступного.
- визначення параметрів трансформування для кожного скінченного елемента залежить тільки від значень у вершинах чотирикутника;
- у процесі трансформування координат кожна точка (вершина чотирикутника) в одній системі координат точно «переходить» в ідентичну точку в іншій системі координат;
- трансформування за допомогою GRID-моделі є відповідним міжнародним стандартам.

Для прикладу наведемо технологічну схему побудови трансформаційного поля м. Одеса:

- підготовка вихідних даних для побудови трансформаційного поля, координати яких визначено в місцевій системі координат, утвореній від СК-42, та в системі координат УСК-2000;
- визначення відхилень в координатах суміщених точок в СК-42 та УСК-2000;
- відбракування пунктів;
- побудова інтерполяційної моделі.

Як вихідні дані використовують координати суміщених пунктів міської мережі, які наведено в офіційних каталогах координат пунктів:

- у місцевій системі координат, утвореній від СК-42;
- у системі координат СК-42;
- у референційній системі координат УСК-2000;
- у місцевій системі координат, утвореній від УСК-2000.

Визначення відхилень в координатах суміщених точок в СК-42 та УСК-2000 виконується за формулами:

$$\Delta x = x_{\text{УСК-2000}} - x_{\text{СК-42}}; \quad (35)$$

$$\Delta y = y_{\text{УСК-2000}} - y_{\text{СК-42}}. \quad (36)$$

Далі виконують послідовне відбракування пунктів зі списку суміщених пунктів шляхом аналізу відхилень координат по осях абсцис Δx й ординат Δy відповідно до умови забезпечення рівномірного покриття (щільності) території пунктами за критерієм, де Δx (Δy) перевищують 3δ .

З метою отримання однорідного трансформаційного поля для відбракування додатково застосовують побудову картографічної моделі відхилень координат у вигляді ізоліній.

На рисунках 5; 6 наведено TIN-модель та GRID-модель суміщених пунктів на територію Одеської області. У програмних комплексах у сфері ГІС частіше представлено інструмент побудови трансформаційного поля у вигляді GRID-моделі. Крім того, міжнародна практика свідчить, що поширеним є використання наборів бінарних файлів з різницями між двома системами координат, тобто регулярних сіток з поправками у вершинах.

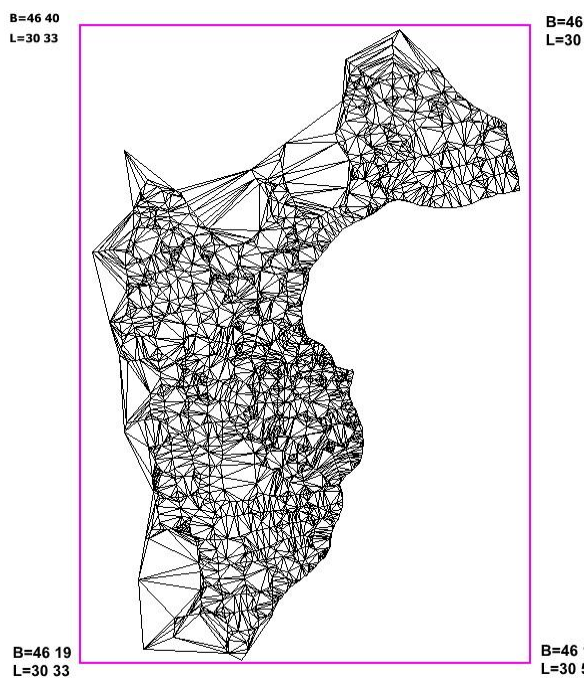


Рис. 5. TIN-модель

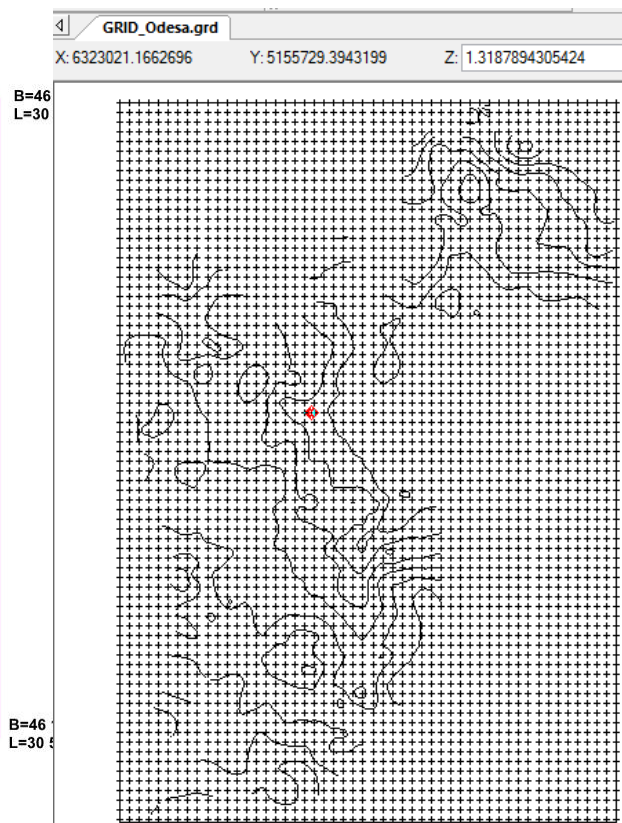
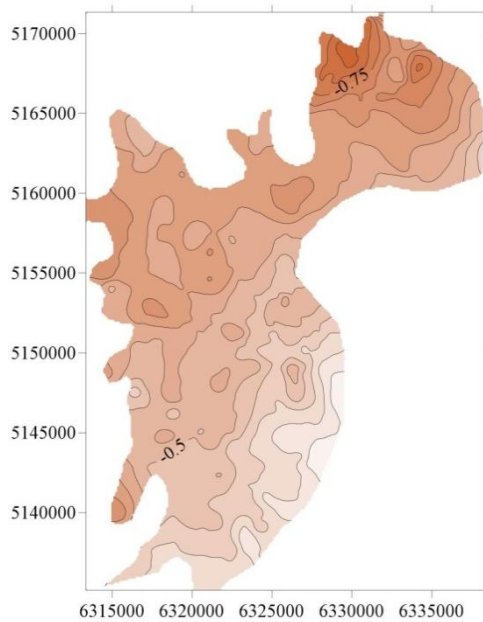
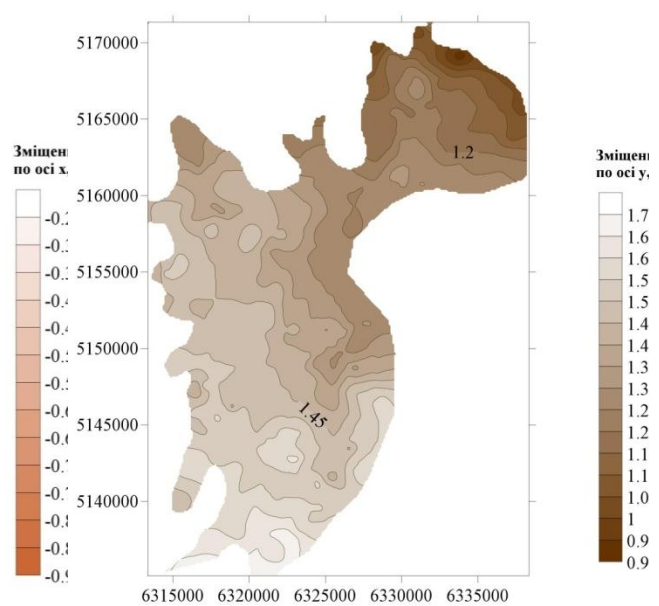


Рис. 6. GRID-модель

Для використання створеного трансформаційного поля – регулярної сітки з поправками в кожному вузлі – файл створюють у форматі NTV2 з розширенням .gsb, в якому виконано опис створеної бінарної сітки.

Аналізуючи каталоги координат м. Одеса, отримано відхилення між двома системами координат, які представлено на рис. 7; 8.

Рис. 7. Розподіл відхилень Δ_x Рис. 8. Розподіл відхилень Δ_y

Аналіз відхилень на всій території є неоднозначним, але певну закономірність можна зауважити: по осі x відхилення менші на південному сході; по осі y – на північному сході.

Висновки. З викладеного випливає, що для переходу від координат опорних точок в місцевій системі координат, утвореній від СК-42, до координат цих точок в УСК-2000 потрібно створити локальне трансформаційне поле.

Трансформаційне поле доречно створювати за методом скінченних елементів.

Для побудови трансформаційного поля вихідними даними є набір даних у вигляді координат опорних точок в місцевій системі координат, утвореній від СК-42, координат цих точок в УСК-2000, значення зміщень по x та y .

Трансформаційне поле створюють у вигляді TIN- або GRID-моделі. Відзначимо, що у програмних комплексах у сфері ГІС найчастіше представлено інструмент побудови трансформаційного поля у вигляді GRID-сітки.

Для виконання трансформації картографічних матеріалів певної території створюють файл NTv2, в якому задано параметри трансформаційного поля.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Карпінський Ю. О. Скінченноелементні моделі геодезичних вимірів: автореф. 41ефе. на здобуття наук. ступеня д-ра 41ефер. наук: спец. 05.24.01 «Геодезія» / Ю.О. Карпінський. – Київ: КНУБА, 2003. – 40 с.

2. Карпінський Ю.О. Обґрунтування методу та побудова трансформаційного поля перетворення координат між системами СК-42 та УСК-2000 / Ю.О. Карпінський, О.В. Кучер, І.М. Заєць // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2013. – Вип. 78 – С. 169-172.

3. Постельняк А.А. Методи трансформування координат в різних геоінформаційних системах / А.А. Постельняк // Містобудування та територіальне планування. – 2013. – Вип. 47 – С. 496-505.

4. *Розроблення програмно-методичного комплексу трансформування координат з існуючої місцевої системи координат м. Києва, утвореної від СК-42, до нової місцевої системи координат м. Києва (МСК – 80), утвореної від УСК-2000: технічний звіт на виконання робіт.* – Київ: НДІ «Геодезії і картографії», 2015.

5. *Розроблення цифрової моделі та програмно-методичного комплексу трансформування координат з СК-42 до УСК-2000: звіт про науково-дослідну роботу.* – Київ: НДІ «Геодезії і картографії», 2008 р.

6. *Практичне застосування новітньої 42еферентної системи координат УСК-2000* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://agrometeo.od.ua/news.php?readmore=137>.

7. *Картографические проекции* [Электронный ресурс]. –К.: КИГЛИ 2002-2005 – 22 с. – Режим доступа: http://geomod.map.ua/doc/concept/map_projections.pdf.

8. *Information and technology Standards «NTv2 (National Transformation Version 2)»:* Government of Ontario IT Standards (GO-ITS). Document No. 45.2. – [Last Review Date: June 14, 2005]. – С: OCCIO/OCCTO MANAGEMENT BOARD SECRETARIAT CORPORATE ARCHITECTURE BRANCH TECHNICAL STANDARDS SECTION, 2005. – 16 р.

REFERENCES

1. Karpins'kyu Yu.O. (2003). *Скінченноеlementні моделі геодезичних вимірів* [The Finite Element Models of the Geodetic Measurements]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kyiv: KNUCA [in Ukrainian].

2. Karpins'kyu Yu.O., Kucher O.V., Zayets' I.M. (2013). *Обґрунтування методу та побудова трансформативного поля перетворення координат між системими СК-42 та УСК-2000* [Substantiation of the method and construction of the transformation field of the transformation of coordinates between systems SK-42 and USK-2000]. *Геодезія, картографія і аерофотознімання – Geodesy, cartography and aerial photography*, 78, 169-172 [in Ukrainian].

3. Postel'nyak A.A. (2013). *Методи трансформування координат в різних геоінформативних системах* [Methods of coordinate transformation in various information systems]. *Містобудування та територіальне планування – Urban planning and territorial planning*, 47, 496-505 [in Ukrainian].

4. (2015) *Розроблення програмно-методичного комплексу трансформування координат з існуючої місцевої системи координат м. Києва, утвореної від СК-42, до нової місцевої системи координат м. Києва (МСК – 80), утвореної від УСК-2000: технічний звіт на виконання робіт* [Development of the programmatic and methodical complex for the transformation of coordinates from the existing local coordinate system of Kyiv, formed from SK-42, to the new local coordinate system of the city of Kyiv (MSK-80), formed from USK-2000: *technical report for the execution of works*]. Kyiv: Research Institute of Geodesy and Cartography [in Ukrainian].

5. (2008) *Розроблення цифрової моделі та програмно-методичного комплексу трансформування координат з СК-42 до УСК-2000: звіт про науково-дослідну роботу* [Development of the digital model and programmatic and methodical complex of

transformation of coordinates from SC-42 to USK-2000: *report on research work*]. Kyiv: Research Institute of Geodesy and Cartography [in Ukrainian].

6. Sayt kafedry ahrometeorolohiyi ta ahrometprohnoziv ODEkU: Praktychne zastosuvannya novitn'oyi referentsnoyi systemy koordynat USK-2000 [Practical application of the newest reference system of coordinates USK-2000]. *agrometeo.od.ua*. Retrieved from <http://agrometeo.od.ua/news.php?readmore=137> [in Ukrainian].

7. (2002-2005) Kartohrafycheskye proektsyy [Cartographic projections]. Kyiv: OOO «KYHLY». Retrieved from http://geomod.map.ua/doc/concept/map_projections.pdf [in russian].

8. Information and technology Standards «NTv2 (National Transformation Version 2)»: Government of Ontario IT Standards (GO-ITS). Document No. 45.2. – [Last Review Date: June 14, 2005]. – С: OCCIO/OCCTO MANAGEMENT BOARD SECRETARIAT CORPORATE ARCHITECTURE BRANCH TECHNICAL STANDARDS SECTION, 2005. – 16 p. [in English].

**О.В. Кучер,
И. С. Курыляк,
В.С. Староверов,
Н.И. Кошелюк**

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ ТРАНСФОРМИРОВАНИЯ
СУЩЕСТВУЮЩИХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ, ТОПОГРАФО-
КАРТОГРАФИЧЕСКИХ И КАДАСТРОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМУ
КООРДИНАТ УСК-2000**

Рассмотрены основные требования к трансформированию координат, методы трансформирования координат и факторы, влияющие на качество трансформирования.

Подробно исследовано трансформирование координат методом конечных элементов, а именно создание трансформационного поля в виде TIN-модели и GRID-модели. Определены свойства данных моделей и установлено их соответствие основным требованиям создания трансформационного поля.

Как пример приведен алгоритм создания трансформационного поля г. Одесса для перехода от координат, определенных в местной системе координат, образованной от СК-42, в систему координат УСК-2000.

Ключевые слова: *система координат, трансформации, трансформационное поле.*

**O.V. Kucher,
I.S. Kurylyak,
V.S. Staroverov,
N.I. Koshelyuk**

STUDY OF THE METHOD TRANSFORMING EXISTING GEODESIC, TOPOGRAPHIC-CARTOGRAPHIC AND CADASTRE MATERIALS TO THE USK-2000 COORDINATE SYSTEM

The basic requirements for the transformation of coordinates, methods of transformation of coordinates and factors influencing the quality of transformation are considered. The necessary set of output data for constructing a transformation field is determined.

The transformation of coordinates by the finite element method, namely the creation of a transformation field in the form of a TIN-model and a GRID-model, has been studied in details. The algorithm of creating interpolation TIN-model and GRID-model of transformation field is considered. The properties of these models are determined, and their conformity with the basic requirements of creating a transformation field is established.

As an example, an algorithm for creating a transformation field of Odessa for the transition from the coordinates defined in the local coordinate system, formed from the reference system of coordinates SK-42, to the reference system of coordinates USK-2000 is given. The analysis of distribution of deviations between coordinates in two systems in the city of Odessa is carried out.

Keywords: *coordinate system, transformation, transformation field.*

Надійшла до редакції

04.09.2017

УДК 528.48

О. М. Самойленко, *д-р техн. наук, професор,
директор науково-виробничого інституту геометричних,
механічних та віброакустичних вимірювань
ДП «Укрметртестстандарт»*

С.А. Сикал, *асп. кафедри інженерної геодезії
Київський національний університет будівництва і архітектури,
викладач Політехнічного технікуму
Конотопський інститут Сумського державного університету*

ОСНОВНІ ПРИНЦИПИ СТВОРЕННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ КОЛІЙНОЇ СИСТЕМИ КООРДИНАТ УКРЗАЛІЗНИЦІ КСКУ-20XX

У статті наведено умовну систему координат Укрзалізниці УСКУ-20XX як проміжну між Міжнародною референційною системою відліку ITRF20XX та запропонованою авторами Колійною системою координат Укрзалізниці

КСКУ-20XX, максимально відповідну технічним й організаційним вимогам до робіт, виконуваним на колії та біля неї, а також придатну для забезпечення навігації потягів.

Ключові слова: умовна система координат, Колійна система координат, Укрзалізниця, формули, апроксимація, обчислення, інфраструктура.

Вступ. Одним з шляхів підвищення ефективності роботи Укрзалізниці є впровадження нових вимірювальних та інформаційних технологій, а також нових методів оброблення результатів вимірювань, зберігання та використання одержаних результатів. До нових технологій вимірювання належать технології застосування не тільки електронних тахеометрів і цифрових нівелірів, а й глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) і лазерного сканування. Однією з передумов впровадження передових технологій є створення Системи координатно-часового забезпечення роботи Укрзалізниці (далі – Система) [1], призначеної для збирання, збереження, оброблення та комплексного використання службами та підрозділами Укрзалізниці всієї інформації, яка так чи інакше пов'язана з просторовими координатами об'єктів Укрзалізниці та їх зміною у часі.

Система наповнюється та використовується всіма службами та підрозділами Укрзалізниці та залізниць України, а також підрядними організаціями (геодезичними підрозділами Укрзалізниці, геодезичними підрядними та проектними організаціями, службами колійного господарства, центром механізації колійних робіт, енергозабезпечення, управління майном, кадастру тощо) на всіх етапах, коли визначають чи застосовують координати. Кожний з користувачів постачає у Систему та бере з неї свою специфічну інформацію, але у прив'язці до координат і часу.

У кінцевому результаті будуть вирішуватися завдання, пов'язані з визначенням місцеположення, швидкості та прискорення рухомих об'єктів на колії й з управлінням ними в просторі й часі, зокрема їх навігацією в реальному часі. Без координатно-часового забезпечення, оснований на використанні переважно глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) [14], це неможливо.

Для забезпечення роботи згаданої Системи важливе значення має єдина система координат, яка, з одного боку, добре узгоджується з всесвітніми системами координат [1], з другого – максимально відповідає потребам залізничників.

Отже, у статті наведено умовну систему координат Укрзалізниці УСКУ-20XX як проміжну між Міжнародною землею референчною системою відліку ITRF20XX, в якій працюють ГНСС-приймачі, та запропонованою Колійною системою координат Укрзалізниці КСКУ-20XX, в якій будуть вирішуватися згадані вище завдання. Ці системи координат доповнюють одна одну, дають змогу розв'язувати будь-які завдання як у статистиці, так і в русі в реальному часі.

Аналіз досліджень і публікацій. Аналіз чинних нормативних документів Укрзалізниці [7; 8; 9] свідчить про те, що залізничники не вирішували питань щодо впровадження нових методів вимірювання та визначення геометричних

параметрів колії залізниць і місцеположення інших об'єктів. Про нові системи координат, які відповідно до розпорядження [11] сприяли б впровадженню досягнень технічного прогресу, в Укрзалізниці не було й мови, хоча деякі автори [13] звертали увагу на важливість впорядкування систем координат.

Протягом десятиліть на залізницях України домінують традиційні геодезичні методи й засоби вимірювань, які ґрунтуються на використанні мірних стрічок й оптичних геодезичних приладів [7; 9] або суто механічних засобів вимірювальної техніки (рулетки, рівні, лінійки). Рекомендується виконувати вимірювання навіть «на око» [7; 8].

Що стосується нормативно-методичних документів Укрзалізниці [9], то в них зазначено, що координати точок планового обґрунтування обчислюють, як правило, в станційній (умовній) системі координат. Допускається можливість визначення координат як в державній системі координат, так і в системі координат WGS-84. Усе розраховано на примітивний локальний підхід у локальних або місцевих системах координат. Наслідком такого підходу є робота кожного зі структурних підрозділів (ПЧ, КМС, ЕЧ та інших) Укрзалізниці у своїх (умовних) системах координат. На підставі цього можна дійти висновку про відсутність єдиної системи координат для виконання робіт на залізницях України. Це ускладнює застосування нових технологій вимірювання, таких як ГНСС, координацію робіт різних підрозділів і підрядників, багаторазове використання одних і тих самих координат та інших даних.

Поява сучасних геодезичних приладів [13] потребує негайних оперативних рішень щодо перегляду методів визначення геометричних параметрів залізничних колій та створення можливості моніторингу за допомогою ГНСС колій залізниць у часі. Застосування запропонованих систем координат дасть змогу створити основу для наповнення і використання програмних комплексів геоінформаційних систем (ГІС) та отримувати динаміку зміни геометричних параметрів колій та інших об'єктів із плином часу.

Постановка завдання. Обґрунтувати математичну основу запровадження умовної системи координат Укрзалізниці УСКУ-20XX як проміжної між Міжнародною земною референчною системою відліку ITRF20XX та запропонованою основною Колійною системою координат Укрзалізниці КСКУ-20XX, проаналізувати їх основні складові та перспективи практичної реалізації.

Основна частина. Колійні машини та колієвимірювальні вагони, які курсують на залізницях України, під час виконання ремонтних робіт не мають у своєму складі високоточних ГНСС-приймачів. Вони не здійснюють прив'язки в кінематичному режимі вимірювання виконуваних ними робіт до пунктів геодезичної реперної мережі у вигляді перманентних (постійно діючих) ГНСС-приймачів, мережу яких (ще недостатньо щільну) створено в Україні. Отже, використання колійних машин та колієвимірювальних вагонів у цілком автоматичному режимі є неможливим.

Найбільш перспективним напрямом щодо виконання вимірювань з метою підготовки вихідних даних для виправки колії (в плані і профілі) є формування файлів із використанням інтегрованих колієвимірювальних комплексів, наприклад колієвимірювальних візків Amberg Technologies AG і Terra

Vermessunger AG (Швейцарія); TrimbleGedo CE (Німеччина); LeicaSiTrack: One (Швейцарія) [12], які в автоматизованому режимі визначають просторове положення та деякі геометричні параметри рейкової колії. За результатами оброблення цих результатів вимірювання формуються дані, які використовують для введення в комп'ютер даних щодо машин важкого типу для виконання колійних робіт. Виконання таких і багатьох інших робіт буде більш ефективним у разі застосування єдиної в Україні системи координат Укрзалізниці, математично пов'язаної з Міжнародною земною референсною системою координат (ITRS).

Встановленим на колієвимірювальному візку ГНСС-приймачем вимірюють просторові координати в Міжнародній земній референційній системі відліку ITRF20XX (реалізація ITRS на епоху XX), які приймачем перетворюються в геодезичну систему координат і одержують геодезичні широту B_i , довготу L_i та висоту H_i на загальноземному еліпсоїді, наприклад GRS-80 в геодезичній системі WGS-84. За вимірними значеннями міжрейкової відстані і підвищення однієї рейки над іншою та ще за деякими даними результати вимірювань ГНСС-приймачем приводять до фактичної осі колії. Такі вимірювання доцільно виконувати з кроком 1...3 м вздовж осі колії. Таким чином, фактична вісь колії, через похибки вимірювань і деформації колії, являтиме собою деяку ламану в плані і профілі лінію.

Перш ніж перейти до викладу послідовності обчислень, наведемо відомі формули [2; 6] для обчислення радіуса меридіана та першого вертикала в точці на поверхні еліпсоїда з геодезичними координатами – широтою B і довготою L :

$$M = a \cdot (1 - e^2) \cdot (1 - e^2 \cdot \sin B)^{-3/2}; \quad N = a \cdot (1 - e^2 \cdot \sin B)^{-1/2}, \quad (1)$$

де a – велика піввісь еліпсоїда; $e^2 = 2 \cdot \alpha - \alpha^2$ – квадрат першого ексцентриситету; α – стиснення еліпсоїда.

1. Послідовність обчислень в Умовній системі координат Укрзалізниці УСКУ-20XX в пласких прямокутних координатах

1. У базу даних (БД) Системи вводять файли з вимірними за допомогою ГНСС-приймачів геодезичними координатами точок на осі колії – геодезичною широтою B_i і геодезичною довготою L_i , вираженими у радіанах, і геодезичною висотою над еліпсоїдом H_i , а також з іншими геометричними параметрами колії, яку вимірюють колієвимірювальним візком.

2. Для кожної колії обирають початок колійної системи координат і за допомогою ГНСС-приймача визначають його геодезичну широту B_0 і геодезичну довготу L_0 в радіанах і заносять в БД.

3. Під час оброблення обирають невелику ділянку колії (таку, щоби лінійні викривлення після проектування на площину були незначні), яка об'єднує декілька структурних елементів колії (прямих, перехідних і кругових кривих). За геодезичними координатами розраховують пласкі прямокутні координати в прямокутній конформній системі координат Гауса – Крюгера всіх точок, які належать до цих структурних елементів, за наведеними у роботах [2–6] формулами.

Відстані за меридіаном від екватора до точок з широтою B_0 і B_i обчислюють за формулами:

$$X_0 = a_0 \cdot B_0 - \frac{a_2}{2} \cdot \sin 2B_0 + \frac{a_4}{4} \cdot \sin 4B_0 - \frac{a_6}{6} \cdot \sin 6B_0 + \frac{a_8}{8} \cdot \sin 8B_0; \quad (2)$$

$$X_i = a_0 \cdot B_i - \frac{a_2}{2} \cdot \sin 2B_i + \frac{a_4}{4} \cdot \sin 4B_i - \frac{a_6}{6} \cdot \sin 6B_i + \frac{a_8}{8} \cdot \sin 8B_i,$$

де a_0, a_2, a_4, a_6, a_8 – деякі коефіцієнти, які залежать від геометричних параметрів конкретного еліпсоїда, наведених після формули (1).

Плоскі прямокутні координати в прямокутній конформній системі координат Гауса – Крюгера обчислюють за спрощеними формулами:

$$y_i = (L_i - L_0) \cdot N_i \cdot \cos B_i = l_i \cdot N_i \cdot \cos B_i; \quad (3)$$

$$x_i = X_i + y_i \cdot \frac{l_i}{2} \cdot \sin B_i - X_0.$$

Більш компактними формулами для обчислення координати x_i , якими рекомендовано користуватись тільки в межах України, є такі:

$$\Delta B_i = B_i - B_0; \quad B_m = (B_i + B_0) / 2; \quad (4)$$

$$\Delta X_i = M_m \cdot \Delta B_i + \frac{a \cdot e^2 \cdot (1 - e^2)}{8} \cdot \cos 2B_m \cdot \Delta B_i^3 = M_m \cdot \Delta B_i + \omega \cdot \cos 2B_m \cdot \Delta B_i^3; \quad (5)$$

$$x_i = X_0 + \Delta X_i. \quad (6)$$

Координати x_i, y_i є координатами в Умовній системі координат Укрзалізниці УСКУ-20XX.

4. Виконують апроксимацію цих координат прямими, клотоїдами та колами відповідно на прямих ділянках колії, перехідних та кругових кривих. За результатами обчислень визначають координати характерних точок колії та інші потрібні геометричні параметри:

- для прямих – координати початку і кінця прямої, далі їх довжину й азимут, а між прямими – кути повороту траси;

- для кругових кривих – їх радіус, координати центра кола, а також їх довжину та координати початку і кінця кривої;

- для перехідних кривих – зміщення між прямою і кривою, їх довжину, координати початку і кінця перехідних кривих.

Розрахунки цих координат і геометричних параметрів у процесі апроксимації, а також розрахунки їх точності є темою окремого розгляду. Наведемо тільки деякі розрахунки для розуміння процесу формування колійних координат:

$$Sp_{i-1i} = \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}; \quad Sp_{ii+1} = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}; \quad (7)$$

$$\alpha_{i-1i} = \arctg \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}}; \quad \alpha_{ii+1} = \arctg \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i}; \quad (8)$$

$$\beta_i = \alpha_{ii+1} - \alpha_{i-1i}; \quad Sk_i = Rk_i \cdot \beta_i, \quad (9)$$

де $x_0, y_0; x_1, y_1 \dots x_i, y_i$ – координати початків і кінців прямих, одержані з апроксимації; $Sp_{i-1}, Sp_{i+1}, \dots$ – довжина прямих в проекції на площину; $\alpha_{i-1}, \alpha_{i+1}, \dots$ – дирекційні кути прямих на площині, виражені в радіанах; β_i – кут повороту колії в горизонтальній площині, виражений у радіанах; Rk_i – радіус кола колії в горизонтальній площині, одержаний з апроксимації; Sk_i – довжина горизонтальної кривої.

5. Далі обирають наступну ділянку колії і виконують обчислення.

2. Послідовність обчислень в Колійній системі координат Укрзалізниці КСКУ-20XX в пласких прямокутних координатах

За довжинами структурних елементів колії – довжинами прямих та кругових кривих, обчисленими за формулами (7) та (9), а також за обчисленими довжинами перехідних кривих визначають координати характерних точок у Колійній системі координат Укрзалізниці КСКУ-20XX як суми відповідних довжин. Докладний виклад обчислень колійних координат не є предметом публікації, проте наведемо декілька формул:

$$x_{K1} = Sp_{01}; \quad x_{K1'} = x_{K1} + d_{01}; \quad x_{K2'} = x_{K1'} + Sk_1; \dots x_{Ki} = \dots, \quad (10)$$

де $x_{K1}, x_{K1'}, x_{K2'} \dots x_{Ki} \dots$ – горизонтальні колійні координати першої і наступних характерних точок колії (довжина колії в проекції на площину від початкової точки колії);

$d_{01} \dots$ – довжина першої і наступних перехідних кривих.

В узагальненому вигляді горизонтальну колійну координату точок колії обчислюють за формулою:

$$x_{Ki} = \sum Sp + \sum d + \sum Sk;$$

де $\sum Sp, \sum d, \sum Sk$ – відповідно суми довжин прямих ділянок, перехідних кривих та кругових кривих до характерної точки з номером i .

Відхилення точок фактичної осі колії та будь-яких інших точок від дійсної осі колії, одержаної з апроксимації перпендикулярно до неї, і є другою колійною координатою.

За горизонтальними координатами, обчисленими за формулами (10) та аналогічними формулами визначають геодезичні координати характерних точок на площині. Саме їх використовують для обчислення положення рухомої платформи на коліях у режимі реального часу. Зважаючи на відносно невеликі відстані від початкової точки ділянки до всіх інших точок, для обчислення геодезичних координат можна застосувати два варіанти наближених формул, точність яких, однак, є цілком достатньою для вирішення поставленої задачі.

Перший варіант:

$$B'_i = B_0 + \frac{x_i}{M_0}; \quad B_m = \frac{B'_i + B_0}{2}; \quad B''_i = B_0 + \frac{x_i}{M_m}; \quad (11)$$

$$B_i = B''_i - \frac{y_i^2}{2 \cdot N''_i \cdot M''_i} \cdot \text{tg} B''_i; \quad L_i = L_0 + \frac{y_i}{N_i \cdot \cos B_i}, \quad (12)$$

Другий варіант:

$$l'_i = \frac{y_i}{N_0 \cdot \cos B_0}; \quad \Delta X'_i = x_i - y_i \cdot \frac{l'_i}{2} \cdot \sin B_0; \quad B'_i = B_0 + \frac{\Delta X'_i}{M_0}; \quad (13)$$

$$B_m = \frac{B'_i + B_0}{2}; \quad (14)$$

$$l''_i = \frac{y_i}{N'_i \cdot \cos B'_i}; \quad \Delta X''_i = x_i - y_i \cdot \frac{l''_i}{2} \cdot \sin B'_i; \quad B_i = B_0 + \frac{\Delta X''_i}{M_m}; \quad (15)$$

$$L_i = L_0 + l''_i \quad (16)$$

Висновки щодо точності й оптимальності застосування першого та другого варіантів необхідно зробити за окремими дослідженнями.

3. Послідовність обчислень в Колійній системі координат Укрзалізниці УСКУ-20XX у просторі

Після обчислень колійних координат на площині (зважаючи на невеликі ділянки, які обирають для оброблення, можна вважати, що на еліпсоїді) переходимо до обчислень колійних координат у просторі. Тепер до горизонтальних колійних координат на еліпсоїді додається вертикальна складова, тобто виміряні за ГНСС-методами геодезичні висоти. Геодезичні висоти відносно еліпсоїда поки що не перераховуються в нормальні висоти відносно квазігеоїда, але все одно через певні проміжки довжини колії ГНСС-вимірювання мають бути прив'язані до реперів Державної нівелірної мережі геометричним нівелюванням.

Так само, виконавши апроксимацію горизонтальних колійних координат і геодезичних висот, прямими і вертикальними кривими визначаємо радіуси цих кривих, координати їх центрів у вертикальній площині, координати початку і кінця прямих. За цими координатами обчислюємо відповідні довжини дійсної апроксимованої осі колії:

$$SH_{i-i} = \sqrt{(x_{Ki} - x_{Ki-1})^2 \left(1 + \frac{H_{i-1}}{R + H_{s-1}}\right) \left(1 + \frac{H_i}{R + H_i}\right) + (H_{i-1} - H_i)^2}; \quad (17)$$

$$SH_{i+1} = \sqrt{(x_{Ki+1} - x_{Ki})^2 \left(1 + \frac{H_i}{R + H_i}\right) \left(1 + \frac{H_{i+1}}{R + H_{i+1}}\right) + (H_i - H_{i+1})^2}; \quad (18)$$

$$\gamma_{i-i} = \arctg \frac{H_i - H_{i-1}}{SH_{i-i}}; \quad \gamma_{i+1} = \arctg \frac{H_{i+1} - H_i}{SH_{i+1}}; \quad (19)$$

$$\varphi_i = \gamma_{i+1} - \gamma_{i-i}; \quad SV_i = RV_i \cdot \varphi_i; \quad (20)$$

$$x_{H1} = SH_{01}; \quad x_{H1'} = x_{H1} + SV_1; \quad x_{H2} = x_{H1'} + SH_{12}; \quad \dots \quad x_{Hi} = \dots, \quad (21)$$

де $x_{Ki-1}, x_{Ki}, x_{Ki+1}$ – горизонтальні координати характерних точок вертикальних кривих, одержані з апроксимації; $SH_{i-i}, SH_{i+1}, \dots$ – довжини прямих у проекції на вертикальну площину; $\gamma_{01}, \gamma_{12}, \dots$ – кути нахилу прямих колії до горизонту у вертикальній площині, виражені в радіанах; φ_i – кут повороту колії у вертикальній площині, виражений у радіанах; RV_i – радіус вертикальної кривої, одержаний з апроксимації; SV_i – довжина вертикальної кривої; $x_{H1}, x_{H1'}, x_{H2} \dots x_{Hi} \dots$ – повздовжні просторові колійні координати, що дають дійсну довжину

колії; $R = \sqrt{M_m \cdot N_m}$ – середній радіус кривизни еліпсоїда на ділянці, для якої виконують обчислення.

В узагальненому вигляді просторову колійну координату точок колії обчислюють за формулою:

$$x_{Hi} = \sum SH + \sum SV,$$

де $\sum SH, \sum SV$ – суми довжин прямих ділянок у просторі та вертикальних кривих до точки з номером i .

4 Послідовність обчислень в Колійній системі координат Укрзалізниці КСКУ-20XX у геодезичних координатах

Перспективним є варіант обчислень, коли завдання з обчислення колійних координат виконують без переходу на площину і назад на еліпсоїд, безпосередньо на еліпсоїді. Геодезичні координати в цьому випадку є фактично координатами в УСКУ-20XX. При цьому виконують апроксимацію безпосередньо геодезичних координат на еліпсоїді, виражених у радіанах, тобто безпосередньо з апроксимації обчислюють геодезичні координати характерних точок, описаних у п. 4 розд. 1 основної частини статті.

Далі треба теоретично обчислити довжини й азимути геодезичних ліній за формулами, наведеними в роботах [2] або [3], але, зважаючи на невеликі відстані між точками, подальші обчислення приростів колійних координат можна виконувати безпосередньо за геодезичними координатами за спрощеними формулами:

$$Sp_{i-li} = \sqrt{(M_m \cdot (B_i - B_{i-1}))^2 + (N_m \cdot (L_i - L_{i-1}) \cdot \cos B_m)^2}; \quad (22)$$

$$Sp_{i+1} = \sqrt{(M_m \cdot (B_{i+1} - B_i))^2 + (N_m \cdot (L_{i+1} - L_i) \cdot \cos B_m)^2}; \quad (23)$$

$$A_{i+1} = \arctg \frac{N_m \cdot (L_{i+1} - L_i) \cdot \cos B_m}{M_m \cdot (B_{i+1} - B_i)}; \quad A_{i-li} = \arctg \frac{N_m \cdot (L_i - L_{i-1}) \cdot \cos B_m}{M_m \cdot (B_i - B_{i-1})}; \quad (24)$$

$$B_m = \frac{B_{i-1} + B_i}{2} \quad \text{або} \quad B_m = \frac{B_i + B_{i+1}}{2}; \quad (25)$$

$$\beta_i = A_{i+1} - A_{i-li}; \quad Sk_i = R_i \cdot \beta_i, \quad (26)$$

де M_m та N_m – середні радіуси кривини меридіана та першого вертикала, обчислені за аргументом B_m за формулами (1).

Відтак колійні координати на площині й у просторі обчислюють аналогічно до формул (10) та (17) – (21). Це дасть змогу значно спростити методику обчислень.

Порівнюючи Колійну систему координат Укрзалізниці КСКУ-20XX, в якій завдання вирішується безпосередньо в геодезичних координатах (тобто УСКУ-20XX є геодезичною системою) із системами координат, використовуваних в Україні [12], а також роботу в УСКУ-20XX та КСКУ-20XX у пласких прямокутних координатах, можемо навести декілька переваг Системи:

1. Немає потреби в додаткових проміжних обчисленнях, бо використовуються безпосередньо виміряні геодезичні координати.

2. Немає спотворень масштабу (довжин ліній), пов'язаних з переходом з поверхні сфероїда на площину.

3. У запропонованій системі координат обчислюють геодезичні азимути ліній, тобто немає повороту системи координат, зумовленої появою кута зближення меридіанів при їх проектуванні на площину в кожній точці вимірювань.

4. На відміну від Державної системи координат України УСК-2000 [10] Умовна система координат Укрзалізниці УСКУ-20XX у плоских координатах та суміщена з геодезичною не має переходів із зони в зону, коли одні й ті самі точки мають дві пари горизонтальних координат.

Таким чином, впровадження УСКУ-20XX і КСКУ-20XX дасть змогу всім службам, підприємствам і підрозділам Укрзалізниці, а також субпідрядникам, швидко, точно й однозначно визначати положення в плані й у просторі не тільки будь-яких об'єктів (стрілочні переходи, стовпи, перони, межі земельних ділянок тощо), а й розв'язувати проблеми, які виникли, наприклад деформацій рейкових колій відносно останнього знімання, положення дефектів рейок під час їх дефектоскопіювання, місць і величини зміщення контактного проводу. Завдання, які можуть бути вирішені, не вичерпуються цим переліком.

Висновки. Використання запропонованих систем координат УСКУ-20XX та КСКУ-20XX на залізницях України дасть змогу:

- ефективно застосовувати ГНСС та інші сучасні геодезичні технології вимірювань на залізничних коліях України;
- використовуючи ГНСС, забезпечити однозначне визначення положення рухомого об'єкта на колії або будь-якого елемента колії чи інфраструктури, а також їх деформацій і дефектів у режимі реального часу;
- забезпечити вимірювання координат колії та іншої інфраструктури Укрзалізниці відносно найближчих пунктів геодезичної мережі із СКП, не більшою за 1...3 см в плані і 2-5 см по висоті та 10 см в межах країни;
- знизити експлуатаційні витрати Системи завдяки високій мобільності й оперативності вимірювань і знаходженню потрібних точок за вимірними координатами, універсальності й багаторазовості використання одних і тих самих даних;
- забезпечити проектування, модернізацію, будівництво та ремонт колії, верхньої будови шляху та об'єктів інфраструктури;
- у перспективі забезпечити визначення пікетажного положення потягів у режимі реального часу в русі на будь-якій швидкості з похибкою порядку 1 метра.

Перспективи подальших досліджень. Потрібно більш докладно описати всі стадії координування точок від геодезичної мережі України до координування точок на рейках та біля них, а також апроксимацію координат прямими, перехідними та круговими кривими.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Самойленко О. М.* Технічні аспекти створення системи координатно-часового забезпечення роботи Укрзалізниці / О. М. Самойленко, С. А. Сикал // Залізничний транспорт України. – 2017. – № 1. – С. 60–66.
2. *Закатов П. С.* Курс высшей геодезии. / П. С. Закатов. – изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1976. – 511 с.

3. Морозов В. П. Курс сфероидической геодезии. / В. П. Морозов. – изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Недра, 1979. – 296 с.
4. Яковлев Н. В. Высшая геодезия: учебник для вузов / Н. В. Яковлев. – М.: Недра, 1989. – 445 с.
5. Зданович В. Г. Высшая геодезия: учеб. пособие для спец. «Маркшейдерское дело» / В. Г. Зданович. – М.: Углетехиздат, 1954. – 280 с.
6. Пеллинен Л. П. Высшая геодезия (Теоретическая геодезия). – М.: Недра, 1978. – 264 с.
7. Інструкція з улаштування та утримання колії залізниць України / Е. І. Даніленко, А. М. Орловський, М. Б. Курган, В. О. Яковлев та ін. – К.: Поліграфсервіс, 2012. – 456 с.
8. Правила і технологія виконання робіт при поточному утриманні залізничної колії / Е. І. Даніленко та ін.; Державна адміністрація залізничного транспорту України. Головне управління колійного господарства. – К.: Транспорт України, 2002. – 156 с.
9. Методичні вказівки зі складання масштабних і схематичних планів станцій та поздовжніх профілів колій. ЦП 0125: затв. наказом Укрзалізниці від 15.12.2004 р. №972-ЦЗ / І. П. Корженевич, К. П. Мартова, М. Г. Ренгач, О. В. Гоц. – К.: Алькор, 2004. – 36 с.
10. Порядок побудови Державної геодезичної мережі. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 7 серпня 2013 р. № 646 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-п>.
11. Розпорядження «Про схвалення Концепції реалізації державної політики України у сфері космічної діяльності на період до 2032 року» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/>.
12. Інформаційні матеріали компаній Amberg, Leica, Trimble [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.ambergtechnologies.ch>; http://digital-imaging.leica-geosystems.com/en/SiTrackOne-by-Leica-Geosystems_107060.htm; <http://trimble-railway.com/en/>.
13. Степанов М. М. Аналіз систем координат, що використовуються в Україні / М. М. Степанов, Т. В. Уварова // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2011. – Випуск 4 (20). – С. 110–112.
14. Воробьев К. А. Спутниковые ГНСС-измерения в режиме реального времени – GSM RTK / К. А. Воробьев // Геопрофи. – 2008. – № 2. – С. 47–49.

REFERENCES

1. Samojlenko, O.M. & Sykal, S.A. (2017). Tekhnichni aspekty stvorennia systemy koordynatno-chasovoho zabezpechennia roboty Ukrzaliznytsi. *Zaliznychnyj transport Ukrainy – The Railway Transport of Ukraine, 1*, 60–66. [in Ukrainian].
2. Zakatov, P. S. (1976). *Kurs vysshej geodezii: izd. 4, pererab. i dop.* Moskva. [in Russian].
3. Morozov, V. P. (1979). *Kurs sferoidicheskoy geodezii: izd. 2, pererab. i dop.* Moskva. [in Russian].
4. Yakovlev, N. V. (1989). *Vysshaya geodeziya: Uchebnik dlya vuzov.* Moskva. [in Russian].

5. Zdanovich, V. G. (1954). *Vysshaya geodeziya: ucheb. posobie dlya spec. «Markshejderskoe delo»*. Moskva. [in Russian].
6. Pellinen, L. P. (1978). *Vysshaya geodeziya (Teoreticheskaya geodeziya)*. Moskva. [in Russian].
7. Danilenko, E. I., Orlovs'kyj, A. M., Kurhan, M. B., Yakovliev, V. O. et al. (2012). *Instruktsiia z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznyts' Ukrainy*. Kyiv: TOV «Polihrafservis». [in Ukrainian].
8. Danilenko, E. I. et al. (2002). *Pravyla i tekhnolohiia vykonannia robit pry potochnomu utrymanni zaliznychnoi kolii*. Kyiv: Transport Ukrainy. [in Ukrainian].
9. Korzhenevych, I. P., Martova, K. P., Renhach, M. H., Hots O. V. (2004). *Metodychni vказivky zi skladannia masshtabnykh i skhematychnykh planiv stantsij ta pozdovzhnykh profiliv kolij*. Kyiv: Al'kor. [in Ukrainian].
10. Poriadok pobudovy Derzhavnoi heodezychnoi merezhi. Zatverdzheno postanovoju Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 7 serpnia 2013 r. № 646. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-p>. [in Ukrainian].
11. Rozporiadzhennia: «Pro skhvalennia Kontseptsii realizatsii derzhavnoi polityky Ukrainy u sferi kosmichnoi diial'nosti na period do 2032 roku». Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/>. [in Ukrainian].
12. Informatsijni materialy kompanij Amberg, Leica, Trimble. Retrieved from <http://www.ambergtechnologies.ch>; http://digital-imaging.leica-geosystems.com/en/SiTrackOne-by-Leica-Geosystems_107060.htm; <http://trimble-railway.com/en/>. [in Ukrainian].
13. Stepanov, M. M. & Uvarova, T. V. (2011). Analiz system koordynat, scho vykorystovuiut'sia v Ukraini. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zv'iazku – Control, Navigation and Communication Systems, issue 4 (20)*, 110–112. [in Ukrainian].
14. Vorob'ev K. A. (2008). Sputnikovye GNSS-izmereniya v rezhime real'nogo vremeni – GSM RTK. *Geoprofi – Geoprofi*, 2, 47–49. [in Russian].

А.Н. Самойленко,

С.А. Сыкал

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПУТЕВОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ УКРАИНСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ КСКУ-20XX

В статье представлена условная система координат Украинской железной дороги УСКУ-20XX как промежуточная между Международной референсной системой отсчета ITRF20XX и предложенной авторами Путевой системой координат Украинской железной дороги КСКУ-20XX, которая максимально отвечает техническим и организационным требованиям к работам, которые выполняются на пути и возле него, а также пригодная для обеспечения навигации поездов.

Ключевые слова: *условная система координат, путевая система координат, украинская железная дорога, формулы, аппроксимация, вычисления, инфраструктура.*

A. Samoilenko,
S. Sykal

MAIN PRINCIPLES OF CREATION AND USE OF THE COLLECTION SYSTEM OF COORDINATE OF UKRZALISKI KSKU-20XX

The article describes the conditional coordinate system of JSC «Ukrzaliznytsia» USKU-20XX as the intermediate system between the International Earth Reference Frame ITRF20XX, in which the GNSS receivers work, and the offered KSKU-20XX Coordinate System of JSC 'Ukrzaliznytsia', in which there will be solved the problems, related to location, speed and acceleration of moving objects on the track, and their control in space and time, including provision of their navigation in real time. These systems meet technical and organizational requirements for the work performed on the track and near it at maximum rate, and are also suitable for providing trains' navigation, which in its turn will allow all services, enterprises and units of JSC «Ukrzaliznytsia» to quickly, precisely and unambiguously locate on the map and space not only any objects (switches, catenary masts, platforms, boundaries of land plots, etc.), but also problems occurred with them.

Keywords: Conditional coordinate system, Track coordinate system, Ukrainian Railways, formulas, approximation, calculations, infrastructure.

Надійшла до редакції

20.09.2017

УДК 528.2

А.П. Исаев, канд. техн. наук, доцент

Р.В. Шульц, д-р техн. наук, профессор

Ю.Ф. Гуляев, доцент кафедры инженерной геодезии

В.С. Стрилец, ас. кафедры инженерной геодезии

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

ПРИНЦИПЫ ИЗМЕРЕНИЯ ОСАДКИ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ КОНСТРУКЦИЙ (НА ПРИМЕРЕ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ)

В статье рассмотрен подход к выполнению предварительного расчета точности геодезических измерений осадок статически неопределимых конструкций на примере прямолинейного вертикального стержня. Предложено для выполнения расчетов использовать базовые принципы строительной механики. Расчеты выполнены исходя из принципа напряженно-деформированного состояния конструкций. Представлен анализ механического движения сооружения во время осадки, при этом рассмотрены две модели сооружения – в виде абсолютно твердого тела и деформируемого тела. Показана связь осадки с деформациями элементов конструкций и напряжениями в их сечениях.

© А.П. Исаев, Р.В. Шульц,
Ю.Ф. Гуляев, В.С. Стрилец, 2017

На примере металлического стержня теоретически смоделирована ситуация осадки и сформулированы необходимые условия измерений. На основании теоретического эксперимента показан принцип расчета точности измерения осадки.

Ключевые слова: осадка, деформация, напряжения, стержень, точность измерений.

Вступление. Любая строительная конструкция должна иметь запас прочности, что обеспечивает надежность ее работы. Неравномерная осадка статически неопределимых конструкций приводит к увеличению напряжений в сечениях элементов конструкций и вызывает деформации, способные повлиять на их жесткость, прочность, выносливость и устойчивость. Это так называемое изменение напряженно-деформированного состояния конструкций [7; 12].

Для геодезических измерений проблема состоит в том, что измерять осадку во времени нужно с такой точностью, с такой частотой и таким комплексом приборов, чтобы контролировать напряжения и деформации в элементах конструкций (ЭК) и не пропустить момент появления критического значения напряжений. При этом организация геодезических измерений должна быть такова, чтобы зафиксировать время начала осадки и время перехода материала ЭК к состоянию предела пропорциональности. Далее, если принято технологическое решение, надо зафиксировать наступление момента предела упругости или же предела прочности. Фиксация данного момента возможна только при комбинированном использовании методов геодезии и методов строительной механики.

Анализ исследований и публикаций. Попытки применения методов строительной механики для решения геодезических задач делались многими учеными начиная с середины XX столетия. Первоначально исследования учёных были направлены на использование аналогий расчетных схем строительных конструкций и геодезических сетей. Исследования в этом направлении позволили разработать оригинальные подходы к уравниванию результатов геодезических измерений, которые базируются на использовании метода сил [13] и метода конечных элементов [9]. В практике инженерной геодезии первые попытки применения методов строительной механики были сделаны при геодезическом обеспечении возведения башенных сооружений. Наиболее полно опыт применения комплексного подхода обобщен в работе [3]. При решении задач геодезического мониторинга первые значимые результаты применения методов строительной механики для расчета точности геодезических работ были достигнуты представителями киевской школы инженерной геодезии под руководством проф. Видуева. Проблеме расчета точности геодезических работ при наблюдении за оседаниями и перемещениями на основе напряженно-деформированного состояния (НДС) посвящены исследования В.С. Старовойтова, А.Ф. Шестопада, В.К. Чибирякова [16; 17]. Несколько позднее детальные исследования в области применения методов строительной механики при геодезическом обеспечении возведения инженерных сооружений были выполнены Б.Д. Бачишиным [2] – геодезическое обеспечение возведения

пространственных покрытий; А.В. Адаменко [1; 15] – геодезическое обеспечение возведения мостовых сооружений; А.И. Егоровым [8] – геодезическое обеспечение возведения башенных сооружений. Общий подход к таким расчетам приведен в работе [10]. Вопросы применения методов строительной механики при выполнении геодезического мониторинга за уникальными сооружениями рассмотрены в работах В.С. Староверова, В.К. Чибирякова, Ю.Ф. Гуляева, Н.В. Белоуса [4], К.Е. Бурака [6], К.А. Никитенко. Использование принципа напряженно-деформированного состояния оказалось весьма эффективным при решении задачи учета температурных деформаций строительных конструкций при выполнении геодезических работ [11; 14; 18].

Несмотря на значительный объем выполненных исследований, в случае проведения геодезического мониторинга проблема измерения осадки с требуемой точностью, частотой и необходимым комплексом приборов при условии контроля напряжения и деформации в элементах конструкций для фиксации критического значения напряжений остается актуальной.

Постановка задачи. Задача статьи заключается в том, чтобы разработать базовые принципы расчета точности геодезических измерений в соответствии с заявленной концепцией на простом примере однородного вертикального стержня, работающего на растяжение.

Изложение основного материала. Осадка инженерного сооружения может быть вызвана многими факторами, например, состоянием основания и геологией участка строительства, весом сооружения, внешними нагрузками и др., и задача геодезиста состоит в том, чтобы измерить эту осадку, даже не зная, какими причинами она вызвана. Многие определения осадки правильны с точки зрения той дисциплины, которая её изучает. Мы со своей стороны хотим дать своё определение, которое согласуется с нашими исследованиями.

Осадка инженерного сооружения – это вертикальное движение инженерного сооружения в целом или отдельных его частей под действием силы тяжести на изменяемых грунтах относительно некоторого исходного положения.

Речь в данном определении идет о механическом движении сооружения (в первую очередь точек его основания $1, 2, 3, \dots, i, \dots, n$ во время осадки, т.к. другие точки по разным причинам могут двигаться иначе) в некоторой установленной системе отсчета.

Напомним, что механическим движением называют изменение положения тела (или его частей) относительно других тел, а система отсчета – это совокупность системы координат «тела» отсчета, с которым система координат связана, и системы фиксации времени. Движение или осадка измеряется относительно высотной геодезической основы, которая является в данном случае «телом» отсчета.

Линия, вдоль которой движется k -я точка основания, называется траекторией, длина траектории – путем. При этом механическое движение характеризуется такими физическими величинами как перемещение, скорость и ускорение.

Перемещение – это направленный отрезок прямой, соединяющий начальную и конечную точки траектории. Скорость характеризует быстроту

перемещение тела, ускорение – быстроту изменения скорости. Перемещение, скорость и ускорение – векторные величины.

В данной работе мы рассматриваем вертикальную и прямолинейную траекторию движения, с которой совпадает направление вектора перемещения, при этом путь, равный модулю перемещения, является численным значением осадки.

Движение происходит во времени и в пространстве. В целом движение начинается в момент времени t_0 и заканчивается в момент времени t_n . По времени движение может быть разбито на несколько интервалов. На границе каждого временного интервала измеряются координаты точек основания. За период времени $\Delta t_{i+1}; i = t_{i+1} - t_i$ точки основания переместятся на некоторую величину с некоторой скоростью и сооружение некоторым образом изменит (или не изменит) свое напряженно-деформированное состояние.

Дальнейший подход зависит от того, какая модель сооружения и его конструкций используется при анализе и расчетах.

Проанализируем применение при исследовании осадки двух физических моделей – абсолютно твердого тела (АТТ) и деформируемого тела.

Абсолютно твердое тело – это совокупность взаимосвязанных материальных точек, расстояния между которыми не изменяются при любом движении тела и при любых воздействиях на него [5; 7]. Эта модель предполагает, что тело может иметь поступательное движение в целом, но не может деформироваться.

Итак, к каким последствиям приведет осадка сооружения в виде абсолютно твердого тела?

При равномерной осадке сооружения все точки основания получают одинаковое перемещение за время Δt . Сооружение в целом переместится в установленной системе отсчета, не изменив своего вертикального положения.

При неравномерной осадке основания сооружения точки получают неодинаковые перемещения с разной скоростью. Сооружение в целом переместится в установленной системе отсчета и накренится. Осадку вызовет крен, который измеряется наряду с осадкой.

Если материалы и размеры элементов строительных конструкций не позволяют принять гипотезу о АТТ, то тогда их рассматривают как деформируемые тела.

Деформируемое тело – это система взаимодействующих материальных точек (молекул, атомов), относительная позиция которых может изменяться под действием внешних сил или температуры [5; 14]. Эта модель предполагает изменение формы, внутренней структуры, объема, площади поверхности тела и т.д.

Деформируемое сооружение – это сооружение со сформировавшимся НДС на момент времени t .

При равномерной осадке, как и в первом случае, сооружение в целом переместится, не изменив своего вертикального положения и не получив деформаций. При неравномерной осадке сооружение получит не только крен, но и деформации элементов конструкций, и, таким образом, изменение НДС.

Связь осадки с деформациями элементов конструкции рассмотрим на примере деформируемого стержня, в котором происходят деформации растяжения.

Описание конструкции. Пусть имеется вертикальный металлический стержень длиной l и площадью поперечного сечения s , защемленный с обоих концов, причем нижний конец стержня защемлен в земле (рис.1). Такой стержень является статически неопределимым.

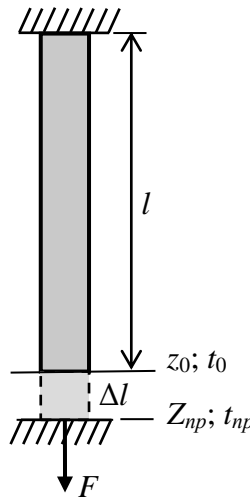


Рис. 1. Продольно деформированный стержень

Пока нагрузки нет, т.е. когда стержень находится в естественном первоначальном состоянии, он имеет длину l . При этом положение нижнего конца стержня измерено и обозначено координатой z_0 на момент времени t_0 . Если произойдет вертикальное оседание земной поверхности, то это будет равнозначно тому, что к стержню приложили продольную растягивающую силу F . Нижний конец стержня переместится, и стержень деформируется на величину Δl (рис. 1).

Если считать стержень однородным, с одинаковыми во всех точках внутренними силами упругости (равнозначными напряжениями), то

$$\Delta l = \frac{Fl}{Es} \text{ или } \Delta l = \frac{\sigma l}{E}, \tag{1}$$

где σ – напряжение, E – модуль упругости.

Обозначив относительное удлинение $\Delta l/l$ через L , представим зависимость (1) в виде

$$L = \frac{\sigma}{E}. \tag{2}$$

Зависимость (2) является одной из важнейших характеристик механических свойств твердых тел. Графическое изображение этой зависимости называется диаграммой растяжения. Типичный пример диаграммы растяжения для металлов показан на рис. 2 [5; 7].

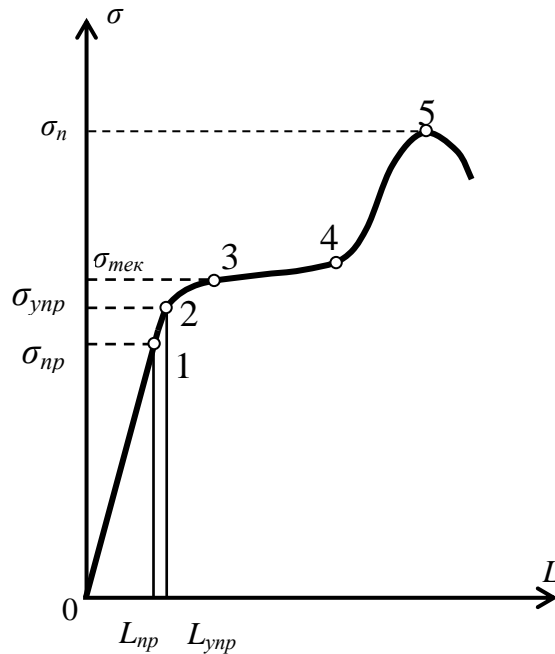


Рис. 2. Диаграмма растяжения металлического стержня

Известно поведение такого стержня под действием возрастающей нагрузки. Начало координат (точка 0) – это то крайнее первоначальное состояние стержня ($z_0, t_0, L_0 = 0, \sigma_0 = 0$), после которого стержень начинает деформироваться от возникшей нагрузки. Начальная деформация является упругой, при этом соблюдается закон Гука, то есть напряжение пропорционально относительному удлинению. Деформация растяжения носит линейный характер до тех пор, пока напряжение не достигнет значения $\sigma_{пр}$ (точка 1 на графике соответствует пределу пропорциональности), а нижний конец стержня не достигнет отметки $z_{пр}$. Далее на сравнительно небольшом отрезке (отрезок 1-2 на диаграмме) деформация носит упругий, но уже нелинейный характер. Предельное значение напряжения на этом отрезке $\sigma_{упр}$ называется пределом упругости. Остаточная деформация при этом еще не возникает, но если нагрузка продолжит возрастать, то с этого момента (точка 2) деформация станет необратимой. Затем начнется текучесть материала (участок 3-4). После прохождения предела текучести (точка 4, соответствующая напряжению $\sigma_{тек}$) материал еще сопротивляется деформации, но когда достигнет предела прочности (σ_n) – разрушится.

Проведем теоретический эксперимент. Смоделируем ситуацию для однородного металлического стержня постоянного сечения и сформулируем необходимые условия измерений.

1. Защемленный стержень представляет собой конструкцию, описанную выше.

2. Нагрузка на стержень возникает в неизвестный для наблюдателя момент времени и с неизвестной по величине продольной растягивающей силой. Поэтому параметры осадки стержня являются неизвестными заранее величинами. При этом других нагрузок, кроме продольной осевой силы, нет.

3. Организация геодезических измерений перемещения конца стержня, закрепленного в земной поверхности, должна позволять зафиксировать момент начала осадки. Если геодезическими методами это сделать не удаётся, значит, нужно другими дополнительными методами и средствами установить начало деформации.

При дальнейших измерениях осадки, когда она непрерывно нарастает, нужно четко зафиксировать наступление первого предела напряженно-деформированного состояния – предела пропорциональности, если поставлено требование, что стержень не должен выйти за пределы упругих деформаций.

4. Частота измерений определяется скоростью развития деформаций и её производной.

5. Предельная погрешность измерения перемещения конца стержня должна быть такой, чтобы результаты измерения показали нам, что достигнуто значение области предела линейных упругих деформаций и при этом значения напряжений в сечениях стержня с вероятностью P не превысили предела упругости.

Предположим, что измерения за осадкой стержня организованы так, что зафиксирован момент начала осадки и, соответственно, начала деформации стержня, т.е. по результатам измерений имеем координату z_0 на момент времени t_0 . Продолжая измерения, зафиксируем значение z_i . По результатам измеренных перемещений вычислим деформации, а по деформациям – напряжения, по которым будем судить о состоянии конструкции.

Для рассматриваемой конструкции деформации определяются как разность перемещений

$$\Delta l = z_i - z_0. \quad (3)$$

Если перемещения измеряют с одинаковой средней квадратической погрешностью m_z , то из формулы (3) найдем:

$$m_z = \frac{m_{\Delta l}}{\sqrt{2}}. \quad (4)$$

На графике видно, что приращению длины соответствует приращение напряжения, поэтому по аналогии с формулой (2) можно утверждать, что бесконечно малому изменению значения длины стержня соответствует бесконечно малое изменение значения напряжения:

$$\frac{dl}{l} = \frac{d\sigma}{E}. \quad (5)$$

Отсюда следует первый очевидный для всех вывод, что погрешность измерения обратно пропорциональна модулю упругости: чем больше E , то есть чем тверже материал, тем точнее надо делать измерения.

Перейдем к средним квадратическим погрешностям:

$$m_{\Delta l} = \frac{l}{E} m_{\sigma}. \quad (6)$$

Подставив это выражение в формулу (4), получим:

$$m_z = \frac{l}{\sqrt{2}E} m_{\sigma}. \quad (7)$$

Пусть измерения показывают, что достигнута область предела линейных упругих деформаций – область напряжений, соответствующая точке 1 на графике. Ограничим эту область напряжений верхним пределом $\sigma_{упр}$, т.е. установим интервал напряжений, ширина которого $\delta\sigma = \sigma_{упр} - \sigma_{нр}$ (от точки 1 до точки 2 на диаграмме).

Возьмем длину этого интервала и представим ее как предельное случайное отклонение напряжений, подчиняющееся закону нормального распределения. При вероятности $P = 0,9973$ будем иметь: $\delta\sigma = 3m_\sigma$. С учетом этого формула (7) примет вид:

$$m_z = \frac{l}{3\sqrt{2}E} \delta\sigma. \quad (7)$$

С указанной точностью необходимо выполнять геодезические измерения, чтобы надежно зафиксировать момент изменения физического состояния стержня.

Выводы. Очевидно, что точность измерения осадки статически неопределимых конструкций определяется зависимостью напряжений от деформаций (свойств материала конструкции и его поведения под нагрузкой). Под действием нарастающей нагрузки материал конструкции претерпевает несколько этапов состояний. На первом этапе упругих деформаций материал сопротивляется нагрузке и может вернуться в исходное состояние после её прекращения. За пределами упругих деформаций произойдут необратимые изменения в структуре элементов конструкции. Поэтому геодезические измерения должны быть проведены таким образом, чтобы по результатам измерений можно было отслеживать необходимые моменты НД состояния элементов конструкций, в том числе момент перехода от упругого состояния к состоянию текучести. При этом точность измерений должна позволять видеть, что состояние конструкции подходит, а затем и вошло в область предела упругих деформаций, но не перешло её. Рассмотренный подход назначения точности геодезических измерений может быть с успехом обобщен для случая составных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Адаменко* О.В. Методи розрахунку точності геодезичних робіт при зведенні мостів шляхом моделювання напружено-деформованого стану [Текст]: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.24.01/ О.В. Адаменко. – К., 2012. – 18 с.
2. *Бачишин* Б.Д. Обґрунтування точності геодезичного забезпечення спорудження будівельних оболонки [Текст]: дис... канд. техн. наук: 05.24.01 / Б.Д. Бачишин. - К., 1999. - 204 с.
3. *Бикташев* М.Д. Башенные сооружения. Инженерный анализ осадки, крена и общей устойчивости положения: учеб. пособие/М.Д. Бикташев. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2006 – 376 с.
4. *Білоус* М.В. Розроблення методики спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.24.01/ М.В. Білоус. – К., 2011. – 16 с.

5. *Будівельна механіка та металеві конструкції: підручник* / В.А. Баженов, О.Ф. Дашенко, Л.В. Коломієць, М.Г. Сур'янінов, О.В. Ухов. – Одеса: «СтандартЪ», 2010. – 587 с.
6. *Бурак К.О.* Сучасні проблеми геодезичного контролю експлуатаційної надійності на АЕС та методи їх розв'язання: автореферат дис. ... д-р техн. наук: 05.24.01/ К.О. Бурак. – Львів, 2008. – 41 с.
7. *Бурчаков Ю.И.* Строительная механика: учеб. пособие / Ю.И.Бурчаков, В.Е. Гнедин, В.М. Денисов. – М.: Высшая шк., 1983. – 255 с.
8. *Єгоров О.І.* Обґрунтування точності геодезичних робіт при будівництві і експлуатації споруд баштового типу на основі напружено-деформованого стану: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.24.01/ О.І. Єгоров. – К., 2011. – 17 с.
9. *Карпинский Ю.А.* Вариационный принцип построения конечных элементов сетей трилатерации / Ю.А. Карпинский // Инженерная геодезия. – 1992. – Вып. 35. – С. 17-23.
10. *Лукьянов В.Ф.* Расчеты точности инженерно-геодезических работ / В.Ф. Лукьянов. – М.: Недра, 1981. – 285 с.
11. *Стрілець В.С.* Дослідження впливу температурних деформацій захисних споруд на результати геодезичного моніторингу / В.С. Стрілець// Інженерна геодезія. – 2016. - №63. – С. 82 – 91.
12. *Строительная механика стержневых систем и оболочек: учеб. пособие* / Ю.И. Бутенко, А.П. Воинов, С.Н. Кан и др.; под. ред. Ю.И. Бутенко. – К.: Высшая школа, 1980. – 488 с.
13. *Товстолес Н.И.* Методы строительной механики в применении к решению задач геодезии и маркшейдерии [Текст]: автореф. дис. ... докт. техн. Наук / Н.И. Товстолес. – К., 1953. – 21 с.
14. *Чибіряков В. К.* Аналіз сучасного стану проблеми врахування впливу температурних деформацій будівельних конструкцій під час виконання геодезичних вимірювань / В.К. Чибіряков, Р.В. Шульц, О.П. Ісаєв, В.С. Стрілець // Інженерна геодезія. – 2013. – Вип. 59. – С. 23 – 31.
15. *Чибіряков В.К.* Визначення точності геодезичних робіт при будівництві та експлуатації опор мостових переходів / В.К. Чибіряков, В.С. Староверов, О.В. Адаменко// Інженерна геодезія. – 2008. – Вип. 54. – С. 238-247.
16. *Чибіряков В.К.* Геодезичний моніторинг напружено – деформованого стану магістральних газопроводів з огляду на опір навколишнього ґрунту / В.К. Чибіряков, В.С. Староверов, К.О. Нікітенко // Інженерна геодезія. – 2014. – Вип. 61. – С. 48-57.
17. *Чибіряков В.К.* Загальний підхід до моделювання точності геодезичних робіт при проведенні моніторингу лінійних споруд / В.К. Чибіряков, В.С. Староверов, К.О.Нікітенко// Інженерна геодезія. – 2011. – Вип. 57. – С. 56-67.
18. *Чибіряков В.К.* Практична реалізація математичної моделі врахування впливу температурних деформацій конструкцій при зведенні інженерних споруд / В.К. Чибіряков, Р.В. Шульц, О.П. Ісаєв, О.В. Адаменко, В.С. Стрілець // Наукові праці ДНТУ. – Вип. 1 (18). – С. 22-32.

REFERENCES

1. Adamenko O.V.(2012) Metody rozrakhunku tochnosti heodezychnykh robot pry zvedenni mostiv shliakhom modeliuvannia napruzhenno-deformovanoho stanu [Methods of calculating the accuracy of geodetic work during the construction of bridges by modeling stress-strain state]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
2. Bachyshyn B.D. (1999) Obgruntuvannia tochnosti heodezychnoho zabezpechennia sporudzhennia budivelnykh obolonok [Justification of the accuracy of geodetic support for the construction of outer shell]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
3. Byktashev M.D. (2006) Bashennye sooruzheniya. Ynzhenernyi analiz osadky, krena y obshchei ustoichyvosti polozheniya [Tower buildings. Engineering analysis displacement, tilt and overall stability of the position]. Moscow: Publishing firm of construction universities [in Russian].
4. Bilous M.V. (2011) Rozroblennia metodyky sposterezhen za peremishchenniamy tuneliv metropolitenu na stadii budivnytstva [Develop methods of observation the movements of the subway tunnel during the construction phase]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
5. Bazhenov V. .A., Dashchenko O.F., Kolomiets L.V., Surianinov M.H., Ukhov O.V. (2010) Budivelna mekhanika ta metalevi konstruktsii [Construction mechanics and metal structures]. Odessa: Standart [in Ukrainian].
6. Burak K.O. (2008) Suchasni problemy heodezychnoho kontroliu ekspluatatsiinoi nadiinosti na AES ta metody yikh rozviazannia [Modern problems of geodetic control of operational reliability at NPPs and methods of their solution]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Lviv [in Ukrainian].
7. Burchakov Yu.Y. (1983) Stroytelnaia mekhanyka [Building mechanics]. Moscow: Vysshaia shkola [in Russian].
8. Yehorov O.I. (2011) Obgruntuvannia tochnosti heodezychnykh robot pry budivnytstvi i ekspluatatsii sporud bashtovoho typu na osnovi napruzhenno-deformovanoho stanu. [Justification of the geodetic accuracy in the construction and operation of tower type structures on the basis of the stress-strain state]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].
9. Karpynskiy Yu.A. (1992) Varyatsyonnyi pryntsyp postroeniya konechnykh elementov setei trylateratsyy. [Variational principle of constructing finite elements of trilateration networks]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 35, 17-23 [in Russian].
10. Lukianov V.F. (1981). Raschety tochnosty ynzhenerno-heodezycheskykh rabot [Calculations of geodetic accuracy]. Moscow: Nedra [in Russian].
11. Strilets V.S. (2016). Doslidzhennia vplyvu temperaturnykh deformatsii zakhysnykh sporud na rezultaty heodezychnoho monitorynhu [Influence of temperature deformations of defensive structures on the results of geodetic monitoring]. – *Engineering geodesy*, 63, 82-91 [in Ukrainian].
12. Butenko Yu.Y., Voynov A.P., Kan S.N. et al (1980). Stroytelnaia mekhanyka sterzhnevnykh system y obolochek [Construction mechanics of rod systems and shells]. Kyiv: Vysshaia shkola [in Russian].

13. Tovstoles N.Y. (1953). *Metody stroytelnoi mekhanyky v pryomenenyy k resheniyu zadach heodezyy u marksheideryy* [Methods of construction mechanics in application to the solution problems of geodesy and mine surveying] *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kyiv [in Russian].

14. Chybiriakov V.K., Shults R. V., Isaiev O. P., Strilets V. S. (2013) *Analiz suchasnoho stanu problemy vrakhuvannia vplyvu temperaturnykh deformatsii budivelnykh konstruksii pid chas vykonannia heodezychnykh vymiriuvan* [Analysis of the current state of problems account for the influence of temperature deformation of building constructions during geodetic measurements]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 59, 23-31 [in Ukrainian].

15. Chybiriakov V.K., Starovierov V.S., Adamenko O.V. (2008). *Vyznachennia tochnosti heodezychnykh robit pry budivnytstvi ta ekspluatatsii opor mostovykh perekhodiv* [Determination of precision geodetic work in construction and operation of bridge abutment]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 54, 238-247 [in Ukrainian].

16. Chybiriakov V.K., Starovierov V.S., Nikitenko K.O. (2014). *Heodezychnyi monitorynh napruzhenno – deformovanoho stanu mahistralnykh hazoprovodiv z ohliadu na opir navkolyshnoho gruntu* [Geodetic monitoring of the stress-strain state of the main gas pipelines considering the resistance of the surrounding soil]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 61, 48-57 [in Ukrainian].

17. Chybiriakov V.K., Starovierov V.S., Nikitenko K.O. (2011) *Zahalnyi pidkhid do modeliuvannia tochnosti heodezychnykh robit pry provedenni monitorynhu liniinykh sporud* [General approach to modeling the accuracy of geodetic work during the monitoring of linear structures]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 57, 56-67 [in Ukrainian].

18. Chybiriakov V.K., Shults R. V., Isaiev O. P., Adamenko O.V., Strilets V. S. (2013). *Praktychna realizatsiia matematychnoi modeli vrakhuvannia vplyvu temperaturnykh deformatsii konstruksii pry zvedenni inzhenernykh sporud* [Practical implementation of the mathematical model for taking into account the influence of temperature deformations during the erection of engineering structures]. *Naukovi pratsi DonNTU – Scientific works of DonNTU*, 1(18), 22-32.

**О.П. Ісаєв,
Р.В. Шульц,
Ю.Ф. Гуляєв,
В.С. Стрілець**

ПРИНЦИПИ ВИМІРЮВАННЯ ОСІДАННЯ СТАТИЧНО НЕВИЗНАЧЕНИХ КОНСТРУКЦІЙ (НА ПРИКЛАДІ ПРЯМОЛІНІЙНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ)

У статті розглянуто підхід до виконання попереднього розрахунку точності геодезичних вимірювань осідань статично невизначених конструкцій на прикладі прямолінійного вертикального стержня. Запропоновано для виконання розрахунків використовувати базові принципи будівельної механіки. Розрахунки виконао відповідно до принципу напружено-деформованого стану конструкцій. Представлено аналіз механічного руху споруди під час осідання, при цьому

розглянуто дві моделі споруди - у вигляді абсолютно твердого тіла і тіла, що деформується. Показано зв'язок осідання з деформаціями елементів конструкцій і напруженнями в їх перетинах. На прикладі металевого стержня теоретично змодельовано ситуацію осідання і сформульовано необхідні умови вимірювань. На підставі теоретичного експерименту показано принцип розрахунку точності вимірювання осідання.

Ключові слова: осідання, деформація, напруження, стержень, точність вимірювання.

**O. Isaiev,
R. Shults,
Yu. Huliaiev,
V. Strilets**

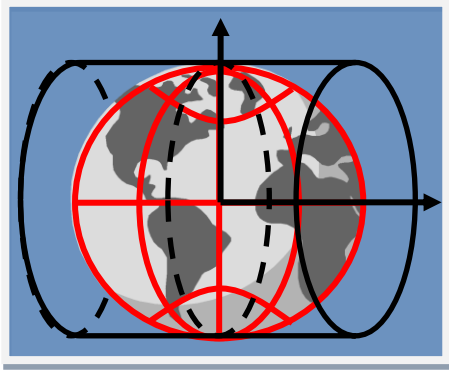
**PRINCIPLES OF MEASUREMENT OF THE SEDIMENTATION
OF STATICALLY UNCERTAINTY CONSTRUCTIONS
(ON THE EXAMPLE OF THE RECTANGULAR VERTICAL ROD)**

In the article, the approach of preliminary calculation of the geodetic accuracy measurements of displacements of statically indeterminate structures using the example of a rectilinear vertical rod was considered. The basic principles of structural mechanics to perform calculations was proposed. Calculations based on the principle of stress-strain state of structures are made. An analysis of the mechanical movement of the structure during the displacement is presented, while two models of the structure are considered - in the form of an absolutely rigid body and a deformable body. The relationship between displacement and deformations of structural elements and stresses in their sections is shown. On the example of a metal rod, theoretically modeled the situation of displacement and formulated the necessary measurement conditions. Based on the theoretical experiment, the principle of accuracy calculation of displacement measurement is shown.

Key words: displacement, deformation, stress, rod, measurement accuracy.

Надійшла до редакції

01.10.2017



ГЕОІНФОРМАТИКА І КАРТОГРАФІЯ

УДК 528.42+528.71

Н.Ю. Лазоренко-Гевель, канд. техн. наук,
доцент кафедри геоінформатики і фотограмметрії
Київський національний університет будівництва і архітектури

ІНІЦІАТИВИ EUROSDR ТА EUROGEOGRAPHICS ЩОДО ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ЗБИРАННЯ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ТОПОГРАФІЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ

У статті розглянуто ініціативи європейських організацій EuroSDR та Eurogeographics щодо використання відкритих даних, які збирають за методом краудсорсингу. Відзначено, що рівень розвитку відкритих геопросторових даних, зокрема таких відомих проектів, як OpenStreetMap, GeoNames, Geo-wiki, Ushahidi та інших, дає змогу порушувати питання про можливість їх використання в топографічному картографуванні. Основними перевагами цих геоінформаційних ресурсів є доступність й актуальність геопросторових даних. Оновлення даних забезпечується масовим волонтерським використанням геокодування доступними засобами мобільних пристроїв. Відкриті дані можуть бути використані як компонента постійно діючої системи геоінформаційного моніторингу місцевості та оновлення геопросторових даних. Розглянуто особливості різних проектів відкритих геопросторових даних та відзначено проблеми досягнення необхідної точності відкритих даних саме для забезпечення топографічного картографування.

Ключові слова: топографічне картографування, геопросторові дані, відкриті геопросторові дані, метод краудсорсингу.

Вступ. Стрімкий розвиток інформаційних і телекомунікаційних технологій, масове застосування геоінформаційних технологій для вирішення різноманітних завдань в різних галузях економіки спричинив кардинальні зміни в топографо-геодезичній і картографічній галузі, яка почала орієнтуватися на потреби так званого інформаційного суспільства, формування якого у світі й Україні зокрема зумовлене потребами часу. Сучасний етап розвитку геоінформаційних технологій характеризується переходом від картографічного до

інформаційного підходу в технологіях збирання, оброблення та поширення геопросторових даних. Однак основними вимогами до геопросторових даних залишаються висока точність, якість, швидкість отримання та бажано низькі людські та фінансові затрати на їх створення та підтримання в актуальному стані. Топографічні карти і плани в Україні нині створюються за нормативно-технічними документами [5; 6], у яких фактично відтворено відповідні радянські положення та інструкції щодо створення й оновлення топографічних карт і планів. Проте ці документи не враховують нових підходів до збирання геопросторових даних та створення топографічних карт і планів, тобто в Україні досі не розв'язано проблем невідповідності нормативно-правового забезпечення в галузі виробництва, постачання і використання геопросторових даних сучасним вимогам суспільства, високому рівню розвитку інформаційних технологій та нових методів збирання геопросторових даних. У той же час рівень розвитку і використання відкритих даних став настільки високим, що вже не можна цим нехтувати. Перевагами використання відкритих даних для вирішення різних завдань є їх доступність й актуальність завдяки оновленню за краудтехнологіями. До недавнього часу відкриті дані не використовували для топографічного картографування, вони розвивалися незалежно від інших новітніх методів збирання геопросторових даних. Зважаючи на кризовий стан топографічного картографування в Україні, доречним є поставити питання про застосування нових джерел і методів збирання геопросторових даних, зокрема відкритих даних, хоча їх точність видається досить сумнівною і потребує ретельної перевірки, проте кращим варіантом є наявність геопросторового об'єкта, визначеного з низькою точністю, ніж його цілковита відсутність.

Метою статті є обґрунтування можливості використання відкритих даних та ознайомлення фахівців топографо-геодезичної і картографічної галузі з ініціативами європейських організацій EuroSDR та Eurogeographics щодо використання новітніх методів створення геопросторових даних. Відкриті дані, зібрані за методом краудсорсингу, забезпечують актуальність геопросторових даних, але їх точність потребує перевірки.

Аналіз досліджень і публікацій. Теоретичну основу дослідження становлять нормативні документи топографо-геодезичної та картографічної галузі, що стосуються створення й оновлення топографічних карт і планів, а саме: Основні положення створення топографічних планів масштабів 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 та 1:500 (затверджені наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 24.01.94 №3) та Основні положення створення та оновлення топографічних карт масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000 (затверджені наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру України №156 від 31.12.1999 р. і погоджені з Воєнно-топографічним управлінням Генерального штабу Збройних сил України), Керівний технічний матеріал з геодезичного забезпечення створення та оновлення топографічних карт масштабу 1:10 000 у Державній референсній системі координат УСК-2000 (наказ Державної служби геодезії, картографії та кадастру від 16 липня 2007 року №75) та Порядок загальнодержавного топографічного і тематичного картографування,

затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 4 вересня 2013 р. №661. В останньому з названих документів сформульовано основні засади і загальні вимоги до створення й оновлення державних топографічних карт, запропоновано низку суттєвих нововведень, зокрема випуск топографічних карт трьох видів: з уніфікованим, розширеним і спрощеним змістом; визначено державною базовою топографічною картою карту масштабу 1:10 000; наведено визначення основних державних топографічних карт, а також періодичність оновлення державних топографічних карт – не більш як п'ять років. Аналіз нормативних документів засвідчив, що топографічні карти і плани в Україні нині створюються за нормативно-технічними документами, у яких фактично відтворено відповідні радянські положення та інструкції, котрі не відображають нових підходів до збирання геопросторових даних та створення топографічних карт і планів. Європейські організації EuroSDR та Eurogeographics розпочали дослідження щодо впровадження нових підходів до збирання геопросторових даних з метою оцінити їх вплив на бізнес-моделі національних картографічних та кадастрових агентств (НККА). В березні-квітні 2017 р. ці організації провели огляд європейських національних картографічних і кадастрових агентств (НККА) для з'ясування стратегій, які вони застосовують, з метою визначити, чи мають НККА можливість (пере) фінансувати операційні витрати та забезпечити довгострокову стійкість (відкритих) даних. Результатом дослідження став звіт «Adapting National Mapping & Cadastral Agencies business models to open data supply: the survey results» [8], який був представлений на семінарі для європейських НККА 18-19 вересня 2017 р. в місті Делфті (Нідерланди).

Завданням статті є огляд сучасних методів збирання геопросторових відкритих даних та спроба оцінити можливість їх використання для забезпечення топографічного картографування відповідно до ініціатив європейських організацій EuroSDR та Eurogeographics.

Основна частина. Незважаючи на значні зрушення в галузі геодезії, картографії та кадастру після виконання Програми топографо-геодезичного та картографічного забезпечення України на 1998-2002 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 16 лютого 1998 р. №181 (181-98-п), та Державної науково-технічної програми розвитку топографо-геодезичної діяльності та національного картографування на 2003-2010 роки, затвердженої постановою Кабінету Міністрів України від 16 січня 2003 р. № 37, сучасний загальний стан топографо-геодезичного та картографічного забезпечення є незадовільним. [1-3; 7; 13].

Серед проблем, які потребують нагального вирішення, слід відзначити невідповідність рівня геоінформаційної продукції темпам розвитку і застосування інформаційних і телекомунікаційних технологій; місцеві системи координат населених пунктів не прив'язані до Державної геодезичної мережі; геопросторові дані не відповідають вимогам міжнародних стандартів у сфері Географічної інформації/Геоматики, і, як наслідок, немає сталої ефективної системи геоінформаційного моніторингу місцевості та оновлення геопросторових даних. Розв'язання цих проблем є можливим лише завдяки удосконаленню нормативно-технічного й організаційного забезпечення геоінформаційної діяльності,

починаючи від створення концептуальних засад та загальних вимог до розроблення і підтримання комплексу технічних вимог до виробництва й постачання геопросторових даних, зокрема з детальним описом сучасних методів збирання цих даних [1; 2; 4; 7].

До відкритих геопросторових даних, які пропонується використовувати для вирішення топографічних і соціальних завдань і які збирають за методом краудсорсингу, належать такі відомі проекти, як OpenStreetMap, GeoNames, Geo-wiki, Ushahidi тощо. Всі названі проекти виникли в результаті винайдення відносно недорогих супутникових пристроїв для визначення координат місцеположення об'єктів, розвитку мобільного зв'язку та функції геолокації в смартфонах. Тому кожен користувач смартфона, під'єданого до мережі Інтернет, може стати добровільним збирачем даних (волонтером) у згаданих проектах відкритих даних. Таким чином, використання відкритих геопросторових даних забезпечує актуальність топографічних даних, але питання точності цих даних залишається відкритим та потребує вивчення. Крім того, суть ідеї відкритих даних полягає у тому, що зібрані державними організаціями у процесі виконання суспільних завдань геопросторові дані мають бути загальнодоступними без обмежень для всіх громадян. Першою вагомою ініціативою стало оприлюднення в 2009 р. у США меморандуму про прозорість і відкритість даних, у якому зазначено, що «відкритість посилить нашу демократію та підвищить працездатність і ефективність в уряді».

Наслідуючи приклад США, Європейська комісія виокремила розвиток цифрових технологій як один з семи компонентів у стратегії «Європа 2020», опублікованої 2010 році. Згідно з цією стратегією дані можна вважати відкритими, якщо їх набір узгоджується з принципами відкритих даних, що стосуються технічних, фінансових, правових й організаційних аспектів. У статті ми розглядаємо відкриті дані як дані, доступні для повторного використання без фінансових, юридичних або технічних обмежень.

З погляду Єврокомісії, відкритість даних вирішить проблему повторного використання геоданих в нових продуктах і послугах та підвищить ефективність діяльності адміністрацій. Директива PSI 2003/98/EC із змінами 2013/37/EU заохочує до впровадження політики відкритих даних. Документ містить рекомендації щодо публікації документів як основних даних, використання відкритих форматів та ліцензій. Єврокомісія рекомендує використовувати ліцензію Creative Commons. Директива вводить принцип, згідно з яким збори з державного органу за використання даних повинні обмежуватися граничними витратами на їх поширення. Директивою визнано, що державні органи, які повинні генерувати доходи для покриття значної частини своїх операційних витрат (установи на самофінансуванні), опиняться в складній ситуації, якщо не зможуть стягувати плату за повторне використання своїх даних. У таких випадках державні органи повинні мати можливість стягувати плату понад граничні витрати. Зазначена плата повинна обмежуватися рівнем, розрахованим на основі граничних витрат. Зокрема, у ст. 22 документа зазначено, що витрати, встановлені відповідно до об'єктивних, прозорих та перевірених критеріїв, а також сукупний дохід від постачання та надання дозволу на повторне використання документів не

повинні перевищувати витрат на збір, виробництво, відтворення та розповсюдження, а також розумну рентабельність інвестицій.

Починаючи з 2009 р., ініціативи щодо відкритих урядових даних поширилися в усьому світі, і концепція відкритих даних дедалі утверджується. Відкриті дані часто пов'язують з реалізацією важливих завдань, таких як більш прозоре й ефективне урядування, вирішення суспільних проблем та збільшення економічної цінності.

Провідною загальноєвропейською організацією, що досліджує проблеми геопросторових даних європейських країн, є EuroSDR (колишня OEEPE), заснована відповідно до міжнародного договору у 1953 році у Парижі на виконання рекомендації Ради Організації європейського економічного співробітництва. В EuroSDR беруть участь національні організації виробничих та дослідних секторів, які нині ефективно досліджують використання відкритих геопросторових даних.

Дослідницькі проекти EuroSDR спрямовані на придбання, управління та доставку геопросторових даних та послуг, а міжнародні семінари та курси у співпраці з відповідними організаціями своєчасно та цілеспрямовано вирішують ключові питання. Партнерами EuroSDR є такі відомі організації, як Асоціація лабораторій географічної інформації для Європи (AGILE), Eurogeographics, Міжнародна картографічна асоціація (ICA), Міжнародне товариство фотограмметрії та дистанційного зондування (ISPRS), Відкритий геопросторовий консорціум (OGC) та UVS International.

Метою EuroSDR є функціонування європейської дослідницької платформи для національних картографічних та кадастрових агенцій, академічних інститутів, приватного сектору, промисловості та груп користувачів з питань, пов'язаних із впровадженням технологічних досягнень щодо оптимізації поставок (оброблення, зберігання, технічного обслуговування, візуалізація, поширення та використання) довідкової інформації (даних, що слугують просторовою структурою для організацій, на яких покладено моніторинг, управління та розроблення) в контексті інфраструктури геопросторових даних. Нині в організації EuroSDR діє шість комісій, відповідно до тем досліджень, які вони виконують: придбання даних, моделювання й оброблення, оновлення та інтеграція, використання інформації, бізнес-моделі й операції, передавання знань. Питаннями використання відкритих даних опікується комісія, яка відповідає за бізнес-моделі й операції.

Далі пропонуємо стислий огляд проектів відкритих даних.

OpenStreetMap є наочним прикладом збирання географічної інформації волонтерами. OpenStreetMap не використовує для зберігання своїх даних стандартних форматів, таких як shapefile. Ресурсом розроблено власний формат на основі XML для подання геопросторових даних у вигляді вузлів (окремих точок), шляхів (послідовності точок, що утворюють лінію), областей (замкнені шляхи, що представляють полігони) та відношень (колекції інших елементів). Кожен елемент (вузол, шлях або відношення) може мати ряд пов'язаних з ним тегів, які містять додаткову інформацію про нього [12].

GeoNames – це географічна база даних для безоплатного завантаження, яка містить понад 10 млн географічних назв і складається з 9 млн унікальних об'єктів,

з яких 2,8 млн населених пунктів та 5,5 млн альтернативних назв. Дані представлено в системі координат WGS84. Всі об'єкти класифіковано в один з дев'яти класів і додаткових підкатегорій в один з 645 кодів об'єктів. Дані доступні безкоштовно за допомогою ряду веб-сервісів та щоденного експорту бази даних. GeoNames вже обслуговує понад 150 млн запитів веб-сервісів на день. Користувачі можуть вручну редагувати, виправляти та додавати нові назви за допомогою зручного вікі-інтерфейсу [9].

Geo-wiki – це проект, створений на основі платформи Google Earth для залучення громадян до моніторингу навколишнього середовища. Він допомагає як у підтвердженні наявної, так і в збиранні нової географічної інформації за методом краудсорсингу. Користуючись такими інструментами, як Google Earth, Bing Maps, геотегованими фотозображеннями та Інтернетом, волонтери можуть додавати до проекту корисну інформацію, що забезпечує зворотний зв'язок відносно наявної інформації, накладеної на супутникові знімки, або шляхом введення зовсім нових даних. Дані можна вводити за допомогою традиційної десктопної платформи або мобільних пристроїв, а кампанії та ігри (Picture Pile, Picture Paint, FAQ) використовуються для стимулювання введення потрібних даних. Отримані дані є доступними без обмежень. Таким чином, у міру збільшення кількості зображень з певною роздільною здатністю, доступних на Google Earth, для кожного користувача стає можливим визначення об'єктів земельного покриття з високим ступенем достовірності. Такий інструмент веб-перевірки земельного покриву, як Geo-wiki, є надзвичайно цінним, оскільки точна й актуальна інформація про глобальний земельний покрив відіграє важливу роль у деяких сферах досліджень (таких, наприклад, як кліматичні зміни, моніторинг зменшення тропічних лісів та землекористування). Оскільки дані про глобальні земельні покриви можуть відрізнятися для досить великих площ (наприклад, територія загальною площею 404 млн га в GlobCover визначається як орні угіддя, а в MODIS – як земля несільськогосподарського призначення), доречно залучити ширшу спільноту для перевірки наборів даних глобальних земельних покривів та надання необхідної інформації, яка може сприяти покращенню сучасного глобального земельного покриву. Традиційні підходи до збору даних та оцінки їх точності досі залишаються актуальними, але можуть бути доповнені новими методами [10; 14].

Ushahidi (з мови суахілі перекладається як «свідectво») – це платформа, що є безплатною програмною підтримкою з відкритим кодом, яку використовують для збирання великих обсягів інформації, візуалізації даних та створення інтерактивних карт для моніторингу ситуації. Ця платформа дає окремим особам і групам змогу співпрацювати у створенні оновлюваних мультимедійних карт для всіх видів проектів, наприклад, для моніторингу навколишнього середовища, для системи охорони здоров'я, контролю за дотриманням прав людини, спостереження за виборами, за неістотними протестами, недбання та їх візуалізацію на карті.

В основу програмного забезпечення покладено ідею краудсорсингу. Ushahidi працює з різними типами інформації з різних джерел, таких як Інтернет, SMS, MMS, голосові повідомлення, блоги, Twitter, фото, відео та інші дані з

мережі, тим самим створюючи тимчасовий та геопросторовий архів подій. Вибір медіа пов'язаний насамперед з культурними й економічними особливостями локації кожного проекту. Основна увага приділяється SMS-повідомленням, оскільки саме вони від самого початку слугували основним джерелом інформації в країнах (перша платформа Ushahidi була відкрита в 2008 р. в Кенії у зв'язку з політичною кризою в країні), де мала площа покриття території мережею Інтернет компенсується феноменальною популярністю мобільних технологій. Дані на Ushahidi можна передавати за допомогою пристроїв з iPhone, Windows Mobile, Android [15].

Оскільки широке застосування відкритих даних для створення геопросторових даних набирає популярності у вирішенні нагальних соціальних завдань, європейські організації EuroSDR у співпраці з Eurogeographics, розпочали дослідження для оцінювання впливу політики відкритих даних на бізнес-моделі національних картографічних агентств та дебати про майбутні бізнес-моделі в контексті відкритих даних. Дослідження спрямовані на розв'язання двох вагомих питань, а саме: визначення безпосереднього впливу на способи (ре)фінансування організаціями своїх операційних витрат та забезпечення довгострокової стійкості їх (відкритих) даних.

Однак, як виявилось, на практиці перехід на відкриту політику даних може стати викликом для бізнес-моделі національних картографічних та кадастрових агентств, особливо якщо вони намагаються отримати достатній дохід для покриття значної частини своїх операційних витрат. Для отримання доходу НККА можуть застосовувати низку інструментів: отримувати дохід шляхом стягування цільових податків або за допомогою обов'язкових реєстраційних зборів, наприклад, для кадастрових операцій. Крім того, багато НККА отримують доходи від ліцензійних платежів за свої платні набори даних та/або надання додаткових послуг, таких як надання інструментів або хостинг платформи даних від імені інших державних організацій.

Перехід від надання ліцензованих даних до відкритих даних часто означає втрату доходів у короткостроковій перспективі. Втрачені через відкритість даних доходи можуть становити ризик для частоти оновлення та якості даних. Однак відкриті дані можуть також надати переваги організації, наприклад, якість даних може підвищуватися, оскільки громадяни та компанії можуть безпосередньо надати зворотний зв'язок. Зростання ефективності може бути пов'язано з тим, що постачальники даних більше не потребують підтримки офісу продажу. Крім того, інші державні органи більше не повинні платити за використання наборів даних у державному секторі економіки. Таким чином, витрати на транзакції для постачальника даних і користувачів зменшуються завдяки відкритості даних. Проте це не означає, що опосередковані переваги відкритих даних перевищують прямі витрати постачальників даних. Крім того, надання відкритих даних — це одна справа, а забезпечення стабільних відкритих даних з фінансового (наявність достатніх коштів у майбутньому), технічного (доступність у довгостроковій перспективі) й організаційного (достатні кадрові ресурси) аспектів — зовсім інша справа [8; 11].

Висновки. Розвиток і застосування сучасних технологій збирання геопросторових даних значно випереджає нормативну базу щодо них в Україні. Одним з новітніх способів збирання геопросторових даних є використання відкритих джерел. Рівень розвитку відкритих даних та сервісів доступу до них дає змогу ставити питання про можливість їх використання для топографічного картографування. Очевидними перевагами цих джерел інформації є їх доступність та постійна актуалізація за методом краудсорсингу. Відкриті дані в топографічному картографуванні можуть бути використані не тільки як додатковий довідковий матеріал, який сприяє вирішенню проблеми оновлення й актуалізації геопросторових даних. Проте одночасно постає питання щодо перевірки точності цих даних для підтримання в актуальному стані єдиної цифрової топографічної основи та ведення топографічного моніторингу місцевості.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Карпінський Ю. О.* Стратегія формування національної інфраструктури геопросторових даних в Україні / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко. – К.:НДІГК, 2006. – 108 с.: іл. – (Серія «Геодезія, картографія, кадастр»).
2. *Карпінський Ю. О.* Геоінформаційні технології: нові парадигми і нові ризики топографо-геодезичної та картографічної діяльності / Ю. О. Карпінський, А.А. Лященко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – зб. наук. праць Західного геодезичного товариства. – 2011—Вип. II(22). – С. 43-48.
3. *Карпінський Ю.О.* Концептуальні засади створення системи державного топографічного моніторингу місцевості / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко, Т.М. Квартич // Вісник геодезії та картографії. – 2011. – №3(72). – С. 27-31.
4. *Концепція* Державної цільової науково-технічної програми розвитку топографо-геодезичної діяльності та національного картографування на 2014-2018 роки (Назва Концепції із змінами, внесеними згідно з Розпорядженням КМ № 770-р (770-2013-р) від 02.10.2013) / Схвал. Розпорядженням КМУ від 29 грудня 2010 р. № 2354-р.
5. *Основні положення* створення та оновлення топографічних карт масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000 / Затв. наказом Гол. упр. геодезії, картографії та кадастру України №156 від 31.12.1999 р. і погодж. з Воєнно-топографічним управлінням Генерального штабу Збройних сил України // Топографо-геодезична та картографічна діяльність: законодавчі та нормативні акти. – У 2 ч. – Вінниця: Антекс, 2002. – Ч. 1. – С.171–188.
6. *Основні положення* створення топографічних планів масштабів 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 та 1: 500 / Затв. наказом Гол. упр. геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України №3 від 24.01.94 // Топографо-геодезична та картографічна діяльність: Законодавчі та нормативні акти. – У 2 ч. – Вінниця: Антекс, 2002. – Ч. 1. – С.84–89.
7. *Сосса Р. І.* Топографічне картографування України (1917 – 1920): моногр. / Р. І. Сосса. – К.: Наук. Думка, 2014. – 384 с., 96 іл.

8. *DRAFT EuroSDR report Open Data* [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.eurocdr.net/>
9. *GeoNames* [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.geonames.org/about.html>
10. *Geo-Wiki* [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.geo-wiki.org/>
11. *EuroSDR Workshop Sustainable Open Data Business Models for NMCAs* [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.eurocdr.net/workshops/sustainable-open-data-business-models-nmcas>
12. *OpenStreetMap* [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.openstreetmap.org>.
13. *Lee Kent D. Russian data illuminate world mapping / Lee Kent D, A. Shumakov // Imaging Notes. – 2003. – P. 16-19.*
14. *Remote Sensing Geo-Wiki.Org: The Use of Crowdsourcing to Improve Global Land Cover* [Електронний ресурс] – Режим доступу: Mdpi.com. doi:10.3390/rs1030345
15. *Ushahidi* [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.usahidi.com/>

REFERENCES

1. Karpinskyi Yu. O., Lyashchenko A.A. (2006) *Strategia formuvannia natsionalnoi infrastruktury geoprostorovykh danykh v Ukraini* [Strategy formation of national geospatial data infrastructure in Ukraine], (108 p.). Kyiv: NDIGK. (Ser. "Geodesy, cartography, cadastre") [in Ukrainian].
2. Karpinskyi Yu. O. *Heinformatsiini tekhnolohii: novi paradygmy i novi ryzyky topografo-heodezychnoi haluzi / Yu. O. Karpinskyi, A. A. Lyashchenko. – Lviv: Suchasni dosyahnennya heodezychoi nauky i vyrobnytstva. – Zbirnyk naukovykh prats Zahidnoho Heodezychnoho Tovarystva. – NU “Lvivska politekhnika”, vypusk II (22). – 2011.*
3. Karpinskyi Yu. O. *Kontseptualni zasady stvorennia systemi derzhavnoho topografichnoho monitorynhu mistsevosti / Yu. O. Karpinskyi, A. A. Lyashchenko, T. M. Kvartych. – Kyiv: Visnyk heodezii i kartografii. – 2011. – №3(72). – с. 27-31.*
4. *Kontseptciya Derzhavnoyi tcilovoi naukovo-tekhnichnoyi program rozvytku topografo-geodezychnoyi diyalnomy ta natsionalnogo kartografuvannya na 2014-2018 roky / Skhval. Rozporyadzhennyam KМУ vid 29 hrydnya 2010 r. № 2354-r.*
5. *Osnovni polozhennya stvorennya ta onovlennya topografichnuh kart mashtabiv 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000 / Zatv. Nakazom Hol. upr. heodeziyi, kartografii ta kadastru Ukrayiny №156 від 31.12.1999 r. i pogodzh. z Voyenno-topografichnym upravlinnyam Heneralnogo Shtabu Zbroynykh Syl Ukrainy // Topografo-heodezychna ta kartografichna diyalnist: Zakodavchi ta normatyvni akty. – V 2 ch. – Vinnytsya: Anteks, 2002. – S.171-188.*
6. *Osnovni polozhennya stvorennya ta onovlennya topografichnuh plany mashtabiv 1: 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 та 1: 500 / Zatv. Nakazom Hol. upr. heodeziyi, kartografii ta kadastru Ukrayiny №3 vid 24.01.94 // Topografo-heodezychna ta*

kartografichna diyalnist: Zakodavchi ta normatyvni akty. – V 2 ch. – Vinnytsya: Anteks, 2002. – S. 84–89.

7. Sossa, R. I. (2014). *Topografichne kartografuvannya Ukrainy (1917 – 1920)* [Topographic mapping of Ukraine (1917-1920)]: monogr. Kyiv: Nauk. Dumka [in Ukrainian].

8. DRAFT EuroSDR report Open Data [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.eurosd.net/>

9. GeoNames [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.geonames.org/about.html>

10. Geo-Wiki [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.geowiki.org/>

11. EuroSDR Workshop Sustainable Open Data Business Models for NMCAs [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.eurosd.net/workshops/sustainable-open-data-business-models-nmcas>

12. OpenStreetMap [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.openstreetmap.org>

13. Lee Kent D. Russian data illuminate world mapping / Lee Kent D, A. Shumakov // Imaging Notes. – 2003. – P. 16-19.

14. Remote Sensing Geo-Wiki.Org: The Use of Crowdsourcing to Improve Global Land Cover [Електронний ресурс] – Режим доступу: Mdpi.com. [doi:10.3390/rs1030345](https://doi.org/10.3390/rs1030345)

15. Ushahidi [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.usahidi.com/>

Н. Ю. Лазоренко-Гевель

**ИНИЦИАТИВЫ EUROSDR И EUROGEOGRAPHICS
ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ СБОРА
ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО
КАРТОГРАФИРОВАНИЯ**

В статье рассмотрены инициативы европейских организаций EuroSDR и Eurogeographics в использовании открытых данных, собираемых методом краудсорсинга. Отмечается, что уровень развития открытых геопространственных данных, в том числе таких известных проектов, как OpenStreetMap, GeoNames, Geo-wiki, Ushahidi и других, позволяет ставить вопрос о возможности их использования в топографическом картографировании. Основными преимуществами этих геоинформационных ресурсов является доступность и актуальность геопространственных данных. Обновление данных обеспечивается массовым волонтерским использованием геокодирования средствами мобильных устройств. Открытые данные могут быть использованы в качестве компонента постоянно действующей системы проведения геоинформационного мониторинга местности и обновления геопространственных данных. Рассмотрены особенности различных проектов открытых геопространственных данных и

отмечаются проблемы достижения требуемой точности открытых данных именно для обеспечения топографического картографирования.

Ключевые слова: топографическое картографирование, геопространственные данные, открытые геопространственные данные, метод краудсорсинга.

N. Yu. Lazorenko-Hevel

EUROSDR AND EUROGEOGRAPHICS INITIATIVES BY THE USE OF MODERN METHODS OF GEOSPATIAL DATA COLLECTION FOR TOPOGRAPHIC CARTOGRAPHY

The article deals with the initiatives of European organizations EuroSDR and Eurogeographics in the use of open data collected by the method of crowdsourcing. It is noted that the level of open geospatial data development, including such well-known projects as OpenStreetMap, GeoNames, Geo-wiki, Ushahidi, and others, allows us to raise the question of the possibility of their use in topographic mapping. The main advantages of these geographic information resources are availability and relevance of geospatial data. Data updates are provided by mass volunteers using geocoding with mobile devices. The open data can be used as a component of a permanent system of geoinformation terrain monitoring and geospatial data updating. The peculiarities of various open geospatial data projects are considered and achievement problems of the required open data accuracy are noted precisely for ensuring topographic mapping.

Key words: topographic mapping, geospatial data, open geospatial data, method of crowdsourcing.

Надійшла до редакції

02.05.2017

УДК 528.31

Т.В. Гуцул, асист.

О.В. Писаренко, магістр

кафедра геодезії, картографії та управління територіями
Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича

МОЖЛИВОСТІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ В ДОСЛІДЖЕННЯХ СТАНУ ГЕОДЕЗИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ДЛЯ ПОТРЕБ ДОРОЖНЬОЇ ГАЛУЗІ

У статті досліджено стан геодезичного забезпечення території України, розрахованого на основі порівняння двох методів геоінформаційного аналізу – просторового аналізу за допомогою побудови буферних зон радіусів кругів нормативно встановлених розмірів та зонування території полігонами Тиссена – Вороного. Виконано оцінку геодезичного забезпечення регіонів України за кожним з методів. В результаті порівняльного аналізу доведено ефективність

використання методу полігонів Тиссена – Вороного під час оцінки стану геодезичного забезпечення та можливостей його подальшого розвитку практично для всієї території України. Виявлено, що поєднання обох методів дасть змогу з більшою ефективністю використовувати наявні пункти ДГМ та обґрунтовувати розміщення геодезичних пунктів, потрібних для розвитку мережі.

Ключові слова: геодезичне забезпечення, ГІС, державна геодезична мережа України, метод буферних зон, метод полігонів Тиссена – Вороного.

Вступ. Сучасне геодезичне забезпечення та картографічне виробництво у розвинутих державах є одним з пріоритетних у створенні національних геоінформаційних ресурсів, які збирають, зберігають, оновлюють та надають численним користувачам для багатогалузевого використання під безпосереднім керівництвом спеціального уповноваженого центрального органу виконавчої влади.

Огляд останніх публікацій переконливо засвідчує, що наявна кількість пунктів Державної геодезичної мережі (ДГМ) в Україні не завжди дає можливість використовувати їх для контролю й оцінювання точності вимірів під час створення знімальних основ для великомасштабних знімань [1].

Окрім того, забезпеченість топографічними продуктами, яка безпосередньо залежить від компонента геодезичної основи, є незадовільною. Недотримання термінів, визначених «Основними положеннями створення та оновлення топографічних карт на територію України», призвело до старіння більш ніж на 15 років і невідповідності сучасному стану місцевості майже 70% топографічних карт усіх масштабів [2]. Автори публікації [3] зазначають, що неоднорідними за віком є вихідні картографічні матеріали базового масштабу 1:10 000 не тільки на окремі регіони, а й навіть на території одного району, що гальмує розвиток геоінформаційних проектів. Досвід створення проектів засвідчує, що основні витрати пов'язані саме із збором достовірних даних та підтриманням їх в актуальному стані.

Реалізація проектних рішень щодо проходження автомобільних шляхів передбачає вилучення земельних ділянок. Подальша ефективна експлуатація доріг, зокрема місцевого значення, потребує інвентаризації та виготовлення документації [4]. Все це, згідно із затвердженим порядком, зумовлює використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 [5]. Однак під час будівництва та ремонту об'єктів дорожньої мережі досі використовується умовна система координат. Наразі виконання геодезичних робіт з використанням різних просторових систем координат не лише спричинює надлишкові вартісні вимірювання, а й ускладнює зведення одержаних даних до профільних наборів у перспективі.

Аналіз досліджень і публікацій. Геоінформаційні системи і технології стали переконливою альтернативою традиційним засобам картографічного моделювання геосистем, оскільки для комплексного моделювання найскладніших просторових об'єктів та явищ у сучасних ГІС застосовується увесь арсенал числових методів та потужних програмних засобів комп'ютерної обробки,

просторово-часового моделювання, накопичення, поширення і візуалізації інформації, зокрема з використанням глобальних інформаційних систем [6].

Нині геоінформаційний аналіз – звична технологія оцінювання розподілу геопросторових об'єктів. Наприклад, дослідження просторового розподілу пунктів геодезичної мережі здійснено Ю. О. Карпінським та Ю. А. Стопхаєм [7].

Фахівцями Науково-дослідного інституту геодезії і картографії 2 січня 2013 р. створено новий геоінформаційний онлайн-ресурс – геопортал Державної геодезичної мережі (далі – геопортал ДГМ): <http://dgm.gki.com.ua>. Інформаційні ресурси геопорталу складаються з бази метаданих про пункти ДГМ, відомостей з банку геодезичних даних України, цифрових та електронних карт, космічних знімків території країни [8].

З 14 травня 2015 р. відкрито другу версію геопорталу «Державна геодезична мережа України». В результаті не тільки розширено функціональні можливості, а й збільшено кількість вихідних даних щодо пунктів ДГМ, що, безперечно, створює передумови для їх подальшого аналізу [9].

Слід зазначити, що одну з методик оцінки можливості створення топографічних карт і планів запропоновано й апробовано С.М. Білокриницьким в дослідженнях топографо-геодезичного забезпечення території Чернівецької області [10; 11].

Постановка завдання. Використовуючи відкриті вихідні дані щодо просторового положення пунктів ДГМ засобами ГІС-технологій, здійснити оцінку топографо-геодезичного забезпечення шляхом порівняння двох методик. Перша методика полягає у побудові радіусів кіл навколо геодезичних пунктів (*буферних зон заданого розміру*) відповідно до нормативних вимог. Друга методика передбачає побудову багатокутників навколо точкових об'єктів мережі ДГМ таким чином, що для будь-якої позиції в межах полігонів відстань до центрального точкового об'єкта завжди менша, ніж до будь-якого іншого об'єкта мережі, що розглядається (*полігонів Тиссена – Воронного*).

Основна частина. Вихідними даними послужили відомості складової частини національної інфраструктури геопросторових даних – геопорталу ДГМ. Використання доступних на сайті інструментів вибору дало змогу пофрагментно зібрати відомості щодо назв та індексів пунктів. Слід зазначити, що поле індексів при цьому було унікальним.

Скопійовані дані переміщено в середовище табличного процесора MS Excel 2007, де формувався єдиний каталог. Оскільки копіювання здійснювалося з позовжнім та поперечним перекриттям, то це призводило до появи повторень. Дотриманню унікальності значень в середовищі табличного процесора сприяла функція видалення дублів.

Для подальшого збору та систематизації атрибутивної інформації застосовано принцип роботи парсера, що полягає у зчитуванні раніше сформованого табличного файлу з унікальними індексами та завантаженні ідентичних url-адрес web-сторінок. Надалі в автоматичному режимі здійснювався пошук html-елементів синтаксису і їх порівняння з потрібними даними. Результат запиту записано у вигляді стрічки даних до файлу *.csv формату.

Таким чином, у вигляді *.csv файла одержано інформацію щодо 21 448 пунктів ДГМ. Хоча загальна кількість унікальних значень на сайті становить 26 026, проте на частину території Донецької, Луганської областей та всю Автономну Республіку Крим з міркувань безпеки у наданні інформації відмовлено. З-поміж усієї множини відповідно до Порядку побудови державної геодезичної мережі значень відібрано 15 127 точок, що відповідають пунктам геодезичної планової мережі 1-3 класу. Одержані дані можна інтегрувати у будь-яку ГІС у вигляді таблиці. Побудову точкових об'єктів виконаємо за наявними в ній координатами (прямокутними або географічними) [12].

Картографічною основою дослідження став попередньо створений набір геопросторових даних, що складався з двох полігональних шарів: «адміністративно-територіальні одиниці України» та «адміністративно-територіальні одиниці тимчасово окупованих територій України». Такий розподіл зумовлено браком вихідних даних на окупованій території і, як наслідок, прагненням запобігти виникненню диспропорцій в аналізі та подальшій інтерпретації результатів [13; 14].

Реалізація першого методу спиралася на те, що густина геодезичних пунктів розглядається як кола (буферні зони), створені навколо геодезичних пунктів. Величина площі таких кіл має бути відповідною нормативним вимогам. Для геодезичного забезпечення топографічної зйомки встановлено такі норми щільності пунктів та реперів ДГМ для зйомок:

- а) у масштабі 1:25 000 і 1:10 000 – 1 пункт на 30 км² і 1 репер на трапецію масштабу 1:10 000;
- б) у масштабі 1: 5 000 – 1 пункт на 20-30 км² і 1 репер на 10-15 км²;
- в) у масштабі 1: 2 000 і більше – 1 пункт на 5-15 км² і 1 репер на 5-7 км²;
- г) на забудованих територіях щільність пунктів державної геодезичної мережі повинна бути не меншою, ніж 1 пункт на 5 км² [15].

У цій методиці використовують формулу площі кола. Оскільки площа є величиною заданою, можна визначити значення радіуса. Звідси отримаємо:

$$R = \sqrt{\frac{S}{\pi}}. \quad (1)$$

Обчислені розміри радіусів кіл для топографічних карт і планів масштабного ряду 1:25 000 – 1:2 000 наведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Значення радіусів кіл для топографічних карт і планів масштабного ряду
1:25 000 – 1:2 000**

Масштаб	Площа S, км ²	Радіус R, км
1:10 000 – 1:25 000	30	3,10
1:5 000	20	2,52
1:2 000	15	2,19

Застосовуючи цю методику, потрібно використати основу з розміщеними на ній геодезичними пунктами. Від пунктів ДГМ нанесемо визначені радіуси зазначених кіл. В результаті одержимо схематичне зображення (рис. 1), на якому буде позначено перетин радіусів кіл, проведених з відповідних центрів

геодезичних пунктів. На схемі можливе утворення «білих плям», тобто місць, що не перекриваються радіусами відповідних кіл. Такі «білі плями» свідчать про те, що топографічні карти (плани) того чи іншого масштабу створити на задану ділянку неможливо без порушення нормативних вимог.

Із загальної площі регіону вилучено площі «білих плям» й одержану величину переведено у відносний показник і зазначено в загальній таблиці (табл. 2).

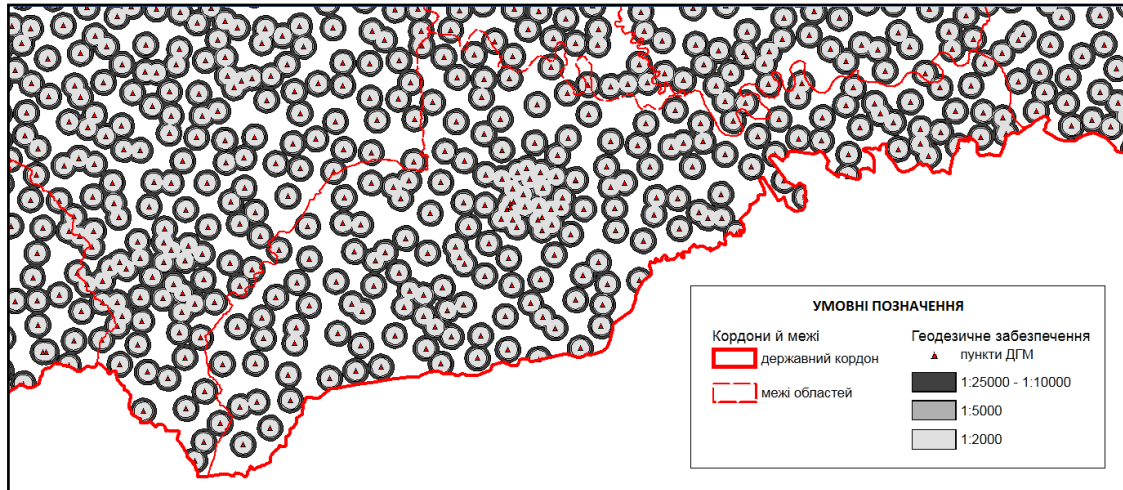


Рис. 1. Схематичне зображення геодезичного забезпечення за методом побудови буферних зон

Застосування другого методу зумовлювало побудову полігонів Тиссена – Вороного. Практично це означає поділ території на сукупність районів для визначення просторових асоціацій та взаємодій. Такий вид аналізу широко використовують для розподілу поверхні на підставі визначених користувачем критеріїв й атрибутів.

Слід зауважити, що карта, побудована із застосуванням цього методу просторового розподілу досліджуваної змінної, зазнає розриву безперервності на межах полігонів, що зазвичай суперечить дійсності. До того ж характер змодельованого просторового розподілу значною мірою залежить від просторового розміщення вузлів мережі.

У зв'язку з цим метод рекомендується для інтерполяції точкових значень за таких умов:

- а) відносно невеликий діапазон змін досліджуваної змінної (розміщення пунктів ДГМ – статичне);
- б) просторова однорідність умов формування її поля (вимоги до просторового розміщення пунктів визначено нормативно).

Побудова полігонів (рис. 2) та подальший аналіз мережі виконано в середовищі ГІС MapInfo Pro 15. Географічний оператор Contains дав змогу враховувати лише ті полігони в межах регіону, які містять пункт ДГМ. Полігонам поверталось значення площі. Від значення загальної площі вилучено нормативні значення площ, передбачені для різних масштабів. На підставі SQL-запитів із сформованих значень відібрано повністю відповідні умові. Загальна кількість пунктів, полігони яких перевищують допустимо встановлену площу, помножено

на одне з нормативних значень і додано до попередньо одержаної площі. Таким чином, була визначена загальна площа геодезичного забезпечення для території, яку переведено у відносний показник та зазначено в табл. 2.

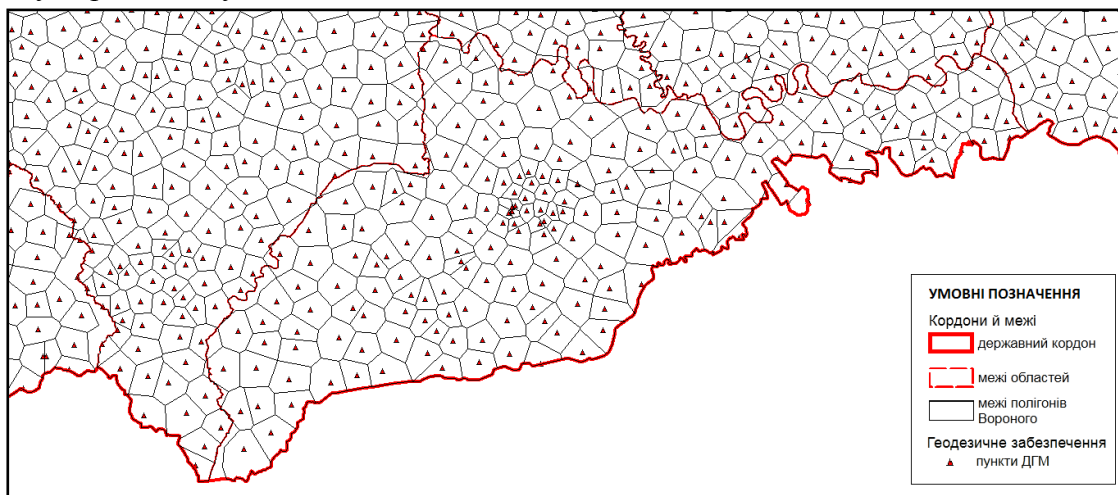


Рис. 2. Схематичне зображення геодезичного забезпечення за методом Тиссена – Вороного

По суті, буферні зони, які утворюються навколо кожного із пунктів ДГМ у вигляді полігона, – це максимально ефективні зони для виконання топографо-геодезичних робіт за його допомогою. Окрім того, якщо на одержані полігони Тиссена – Вороного накласти побудовані кола різних радіусів (рис. 3), то можна виявити закономірність: у місцях «білих плям» перетинаються межі кількох полігонів, що відкриває перспективу моделювати розвиток мережі пунктами 1-3 класів.

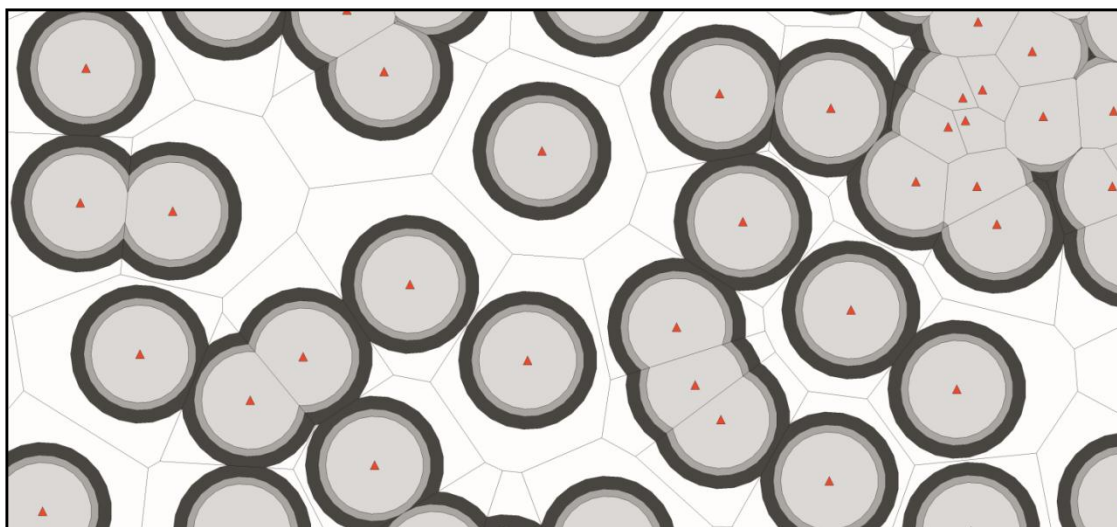


Рис. 3. Можливість моделювання просторового розміщення майбутніх пунктів

Зрозуміло, що для об'єктивного загального порівняння одержаних у табл. 2 результатів слід було використати узагальнений рейтинговий показник. Пропонований розрахунок полягав у використанні ваг різних значень. Вага встановлювалася за принципом розграфлення картографічних творів. В досліджуваному масштабному ряді найбільшим за змістом і точністю є масштаб

1:2 000. Отже, дев'ять аркушів масштабу 1:2 000 становлять один аркуш масштабу 1:5 000, а чотири аркуші плану 1:5 000 формують топографічну карту 1:10 000. Крім того, слід зазначити, що з крупніших масштабів шляхом генералізації завжди можна отримати дрібніші. Таким чином, одержимо формулу:

$$r = x_1 + \frac{x_2}{9} + \frac{x_3}{4}, \quad (2)$$

де r – загальне рейтингове значення; x_1 – величина значення за масштабом 1:2000; x_2 – величина значення за масштабом 1:5 000; x_3 – величина значення за масштабом 1:10 000-1:25 000.

Оскільки кожне із відносних значень не може перевищувати 100%, то можна розрахувати максимально можливе значення рейтингу, підставивши відповідні значення до формули (2). Розраховані значення для зручності виражатимемо також у відносному показнику.

Таблиця 2

**Оцінка геодезичного забезпечення регіонів України
за допомогою побудови буферних зон різних розмірів**

Регіон	Загальна площа регіону, км ²	% території з можливістю геодезичного забезпечення для різних масштабів без порушення нормативних вимог за різними методами:						Загальна рейтингова оцінка геодезичного забезпечення	
		І метод буферних зон			ІІ метод полігонів Тиссена – Вороного			І метод	ІІ метод
		1:10000 1:25000	1:5000	1:2000	1:10000 1:25000	1:5000	1:2000		
АР Крим ¹	26081	–	–	–	–	–	–	–	–
Вінницька обл.	26513	63,89	45,72	35,46	69,12	48,65	36,79	41,52	43,70
Волинська обл.	20144	60,60	43,62	33,85	66,36	46,19	34,83	39,56	41,55
Дніпропетровська обл.	31974	68,20	50,03	39,11	75,15	53,99	41,11	45,34	48,41
Донецька обл. ²	18366	74,03	54,91	43,59	79,60	59,57	46,21	50,11	53,43
Житомирська обл.	29832	63,25	44,86	34,63	68,48	47,49	35,93	40,72	42,85
Закарпатська обл.	12777	71,91	41,87	32,20	63,83	43,65	32,89	40,28	39,45
Запорізька обл.	27180	74,64	57,99	46,87	83,77	65,66	51,47	52,88	58,56
Івано-Франківська обл.	13928	65,97	47,75	37,29	73,40	52,07	39,71	43,41	46,91
Київська обл. (без м. Києва)	28131	65,10	48,25	38,25	71,30	52,65	40,73	44,00	47,32
Кіровоградська обл.	24588	70,05	51,17	39,89	76,68	55,09	41,91	46,35	49,37

¹ Даних немає

² Без тимчасово окупованих територій

Закінчення табл. 2

Луганська обл. ³	18218	62,24	44,57	34,53	68,52	47,40	35,92	40,44	42,84
Львівська обл.	21833	64,14	46,31	36,12	71,01	50,07	37,94	42,10	45,00
Миколаївська обл.	24598	61,41	43,56	33,67	66,84	46,43	35,17	39,57	41,91
Одеська обл.	33310	64,92	47,48	37,26	71,43	51,90	39,98	43,17	46,73
Полтавська обл.	28748	68,02	50,95	40,55	75,52	56,09	43,39	46,44	50,33
Рівненська обл.	20047	57,16	40,22	30,96	60,92	42,01	31,69	36,53	37,90
Сумська обл.	23834	70,88	53,92	42,99	78,27	59,45	46,27	49,00	53,22
Тернопільська обл.	13823	70,81	52,37	41,06	77,81	56,79	43,47	47,45	50,86
Харківська обл.	31415	64,66	47,14	36,96	70,77	50,38	38,69	42,88	45,54
Херсонська обл.	28461	62,56	47,54	38,11	69,59	53,56	41,81	43,37	47,87
Хмельницька обл.	20645	62,34	44,14	34,00	67,41	46,21	34,80	40,03	41,72
Черкаська обл.	20900	64,63	47,33	37,22	71,14	51,43	39,30	43,08	46,14
Чернівецька обл.	8097	60,05	42,40	32,92	65,15	45,91	35,10	38,68	41,50
Чернігівська обл.	31865	59,35	42,05	32,50	64,31	44,56	33,71	38,21	40,22
м. Київ	839	94,33	87,29	79,79	82,01	81,64	79,79	83,07	80,35
м. Севастополь ⁴	864	–	–	–	–	–	–	–	–

Висновки. Законодавчим регулюванням використання системи координат УСК-2000 вже передбачено виконання ряду земельно-кадастрових робіт на різних етапах будівництва й обслуговування дорожніх об'єктів. Тенденції в галузі засвідчують, що з метою уніфікації виконаних вимірювань відбуватиметься відхід від традиційної умовної системи координат на користь державної геодезичної референцної системи УСК-2000. Проектування в єдиному середовищі дасть змогу уникнути дублювання робіт та пришвидшить формування профільних наборів геопросторових даних.

Застосування обох методів дало можливість встановити, що стан геодезичного забезпечення території України залишається на вкрай низькому рівні. Порівнюючи обидва методи, можна припустити, що застосування методу полігонів Тиссена – Вороного для дослідження геодезичного забезпечення території практично в усіх випадках є виправданим і дає можливість з більшою ефективністю використовувати наявні пункти ДГМ. Окрім того, поєднуючи обидва методи, можна виявити місця, що потребують розвитку мережі. Таку добудову слід виконувати згідно з вимогами до щільності геодезичних пунктів за допомогою технічного проектування у цілковитій відповідності до нормативних документів.

Перспективи дослідження. У контексті виконаного дослідження можна застосувати точніші вихідні дані координат (їх значення наведено геопорталом з точністю до 1 м в системі координат УСК-2000) й апробувати метод середнього зважування, обернено пропорційного відстані, і метод сплайн-апроксимації.

³ Без тимчасово окупованих територій

⁴ Даних немає

Близькість точок мережі підвищує рівень геодезичного забезпечення території. Зауважимо, що відомо багато модифікацій цього підходу. Застосування одних методів скорочує обсяг обчислень за допомогою «пошуку з навчанням», в других методах використовують ваговий коефіцієнт, у третіх – бар'єри та обмеження, які впливають на результати інтерполяції.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурак К. О. Деякі проблеми координатного забезпечення інженерно-геодезичних вишукувань в Україні / К. О. Бурак // Вісник геодезії та картографії. – 2015. – С. 7–13.
2. Антонюк В. С. Особливості й завдання великомасштабного картографування населених пунктів / В. С. Антонюк, О. Ф. Ладан, В. Л. Ношкалюк // Вісник геодезії та картографії. – 2011. – С. 33–35.
3. Карпінський Ю. О. Формування національної інфраструктури просторових даних – пріоритетний напрям топографо-геодезичної та картографічної діяльності / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко // Вісник геодезії та картографії. – 2001. – С. 65–74.
4. Мінінфраструктури восени почне передавати місцеві дороги на баланс облдержадміністрацій [Електронний ресурс] // УНІАН. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://economics.unian.ua/transport/1832721-mininfrastrukturi-voseni-rochne-peredavati-mistsevi-dorogi-na-balans-oblderjadministratsiy.html>.
5. Наказ Мінагрополітики України «Про затвердження порядку використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою» від 02.12.2016 № 509.
6. Карпінський Ю. О. Геоінформаційні технології: нові парадигми і нові ризики топографо-геодезичної та картографічної діяльності / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць Західного геодезичного товариства УТГК. – 2011. – Вип. 2(22). – С. 43–48.
7. Карпінський Ю. О. Державна геодезична мережа України 1 класу: геоінформаційний аналіз квадратів / Ю. О. Карпінський, Ю. А. Стопхай // Вісник геодезії та картографії. – 2010. – С. 24–29.
8. Черін А. Г. Структура та функції геопорталу Державної геодезичної мережі України / А. Г. Черін, М. В. Горковчук // Вісник геодезії та картографії. – 2013. – С. 24–27.
9. Геопортал «Державна геодезична мережа України» / Ю. О. Карпінський, О. В. Кучер, А. А. Лященко та ін. // Науково-дослідний інститут геодезії і картографії. – 2015. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://dgm.gki.com.ua>.
10. Білокриницький С. М. Оцінка можливості створення топографічних карт і планів на територію Вінницької області / С. М. Білокриницький // Матеріали міжнародної наукової конференції «Від географії до географічного українознавства: еволюція освітньо-наукових ідей та пошуків». – 2016. – С. 188 – 189.
11. Білокриницький С. М. Сучасні можливості створення великомасштабних топографічних карт і планів / С. М. Білокриницький // Науковий вісник Чернівецького університету. – 2001. – С. 197.

12. *Про забезпечення прав і свобод громадян та правовий режим на тимчасово окупованій території України*: Закон України від 15 квітня 2014 р. № 26 // Відомості Верховної Ради України. – 2014. – №26. – С. 892.

13. *Гуцул Т. В.* Технічні аспекти створення геопросторової бази даних об'єктів адміністративно-територіального устрою України / Т. В. Гуцул, О. В. Писаренко // Шевченківська весна – 2015. – Географія. – 2015. – С. 61–63.

14. *Писаренко О. В.* Аналіз створення та інтеграції геопросторового банку даних території України в розрізі адміністративних утворень / Олеся Віталіївна Писаренко // Матеріали студентської наукової конференції Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Природничі науки. Секція географічні науки. Підсекція геодезії, картографії та управління територіями (21-22 квітня 2016 року). – Чернівці : Чернівецький нац. ун-т, 2016. – С. 37–38.

15. *Основні положення створення Державної геодезичної мережі України*: постанова Кабінету Міністрів України № 844 від 8 червня 1998 р. [Текст] // Збір. законодавства України. – Сер. 1. Постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України. – 1998. – №9. – С. 416.

REFERENCES

1. Burak K. O. (2015). *Deiaki problemy koordynatnoho zabezpechennia inzhenerno-heodezychnykh vyshukuvan v Ukraini* [Some problems of coordinate software engineering and geodetic surveying in Ukraine]. *Visnyk heodezii ta kartohrafii*, 2(95), 7-13 [in Ukrainian].

2. Antoniuk V. S., Ladan O. F., Noshkaliuk V. L. (2011). *Osoblyvosti y zavdannia velykomasshtabnoho kartohrafuvannia naselenykh punktiv* [Features and problems of large-scale mapping of settlements]. *Visnyk heodezii ta kartohrafii*, 5(74), 33-35 [in Ukrainian].

3. Karpinskyi Yu. O., Liaschenko A. A. (2001). *Formuvannia natsionalnoi infrastruktury prostorovykh danykh – priorytetnyi napriam topografo-heodezychnoi ta kartohrafichnoi diialnosti* [Formation of a national spatial data infrastructure – a priority topographic, geodesic and cartographic activities]. *Visnyk heodezii ta kartohrafii*, 3, 65-74 [in Ukrainian].

4. *Mininfrastruktury voseny pochno predevaty mistsevi dorohy na balans oblderzhadministratsii.* (2017). [The Ministry of Infrastructure will begin to transfer local roads to the balance of regional administrations]. UNIAN. Retrieved from <https://economics.unian.ua/transport/1832721-mininfrastrukturi-voseni-pochne-peredavati-mistsevi-dorogi-na-balans-oblderjadministratsiy.html> [in Ukrainian].

5. *Nakaz Minahropolityky Ukrainy «Pro zatverdzhennia poriadku vykorystannia Derzhavnoi heodezychnoi referentsnoi systemy koordynat USK-2000 pry zdiisnenni robot iz zemleustroiui» vid 02.12.2016 № 509.* [Order of the Ministry of Agrarian Policy of Ukraine «On approval of the State referral geodetic coordinate system USC-2000 in carrying out work on land management» from 02.12.2016 # 509]. (2016, December 2). [in Ukrainian].

6. Karpinskyi Yu. O., Liaschenko A.A. (2011). *Heoinformatsiini tekhnolohii: novi paradyhmy i novi ryzyky topografo-heodezychnoi ta kartohrafichnoi diialnosti* [GIS technology: the new paradigm and new risks topographic, geodesic and cartographic

activities]. Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva: zbirnyk naukovykh prats Zakhidnoho heodezychnoho tovarystva UTHK, 2(22), 43-48. [in Ukrainian].

7. Karpynskyi Yu. O., Stopkhai Yu. A. (2010). Derzhavna heodezychna merezha Ukrainy 1 klasu: heoinformatsiyni analiz kvadrativ [State geodetic network Ukraine Grade 1: geoinformation analysis squares]. Visnyk heodezii ta kartohrafii, 1(64), 24-29 [in Ukrainian].

8. Cherin A. H., Horkovchuk M.V. (2013). Struktura ta funktsii heoportalu Derzhavnoi heodezychnoi merezhi Ukrainy [Structure and function of the State geodetic network geoportals Ukraine]. Visnyk heodezii ta kartohrafii, 1(82), 24-27 [in Ukrainian].

9. Heoportals «Derzhavna heodezychna merezha Ukrainy» [Geoportal «State geodetic network of Ukraine»]. dgm.gki.com.ua. Retrieved from <http://dgm.gki.com.ua> [in Ukrainian].

10. Bilokrynytskyi S. M. (2016). Otsinka mozhyvosti stvorennia topohrafichnykh kart i planiv na terytorii Vinnytskoi oblasti [Evaluate the creation of topographic maps and plans in the Vinnytsia region]. Materialy mizhnarodnoi naukovoï konferentsii «Vid heohrafii do heohrafichnoho ukrainoznavstva: evoliutsiia osvitho-naukovykh idei ta poshukiv». (pp. 188-189). Chernivtsi: ChNU [in Ukrainian].

11. Bilokrynytskyi S. M. (2001). Suchasni mozhyvosti stvorennia velykomasshtabnykh topohrafichnykh kart i planiv [Modern possibilities of creating large-scale topographic maps and plans]. Naukovyi visnyk Chernivetskoho universytetu. – p. 197 [in Ukrainian].

12. Zakon Ukrainy Pro zabezpechennia prav i svobod hromadian ta pravovy rehym na tymchasovo okupovanii terytorii Ukrainy : vid 15 kvitnia 2014 r. № 26 [On the rights and freedoms of citizens and legal regime in the temporarily occupied territory of Ukraine]. (2014, April 15). Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy, p. 892 [in Ukrainian].

13. Hutsul T. V., O.V. Pysarenok (2015). Tekhnichni aspekty stvorennia heoprostorovoi bazy danykh ob'ektiv administratyvno-terytorialnoho ustroiu Ukrainy. [Technical aspects of geospatial database objects administrative and territorial structure of Ukraine]. Shevchenkivska vesna, p. 61-63 [in Ukrainian].

14. Pysarenok O. V. (2016). Analiz stvorennia ta intehtatsii heoprostorovoho banku danykh terytorii Ukrainy v rozrizi administratyvnykh utvoren. [Analysis of creating and integrating geospatial data bank in Ukraine in terms of administrative units]. Materialy studentskoi naukovoï konferentsii Chernivetskoho natsionalnoho universytetu imeni Yurii Fedkovycha. Pryrodnychi nauky. Sektsiia heohrafichni nauky. Pidsektiia: heodezii, kartohrafii ta upravlinnia terytoriiamy – Proceedings of the scientific conference Chernivtsi University. Natural Sciences. Section geography. Subsection: geodesy, cartography and territory management, p. 37-38. [in Ukrainian].

15. Osnovni polozhennia stvorennia Derzhavnoi heodezychnoi merezhi Ukrainy: postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy № 844 vid 8 chervnia 1998 r. [The main provisions of the establishment of the State geodetic network in Ukraine]. (1998, June 8). Zbir. zakonodavstva Ukrainy. Ser. 1. Postanovy ta rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy, p. 416. [in Ukrainian].

Т.В. Гуцул,
О.В. Пысаренко

**ВОЗМОЖНОСТИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА
В ИССЛЕДОВАНИЯХ СОСТОЯНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО
ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ УКРАИНЫ ДЛЯ НУЖД ДОРОЖНОЙ
ОТРАСЛИ**

В статье исследуется состояние геодезического обеспечения территории Украины, рассчитанного на основе использования и сравнения двух методов геоинформационного анализа – пространственного анализа с помощью построения буферных зон нормативно установленных радиусов кругов и зонирования территории полигонами Тиссена – Воронного. Осуществлено оценку геодезического обеспечения регионов Украины по каждому из методов. В результате сравнительного анализа доказано эффективность использования метода полигонов Тиссена – Воронного при оценке состояния геодезического обеспечения и возможностей его дальнейшего развития практически для всей территории Украины. Установлено, что сочетание обоих методов позволит с большей эффективностью использовать существующие пункты ГГС и обосновать место расположения геодезических пунктов, необходимых для развития сети.

Ключевые слова: геодезическое обеспечение, ГИС, государственная геодезическая сеть Украины, метод буферных зон, метод полигонов Тиссена – Вороного.

T. V. Gutsul,
O. V. Pusarenjuk

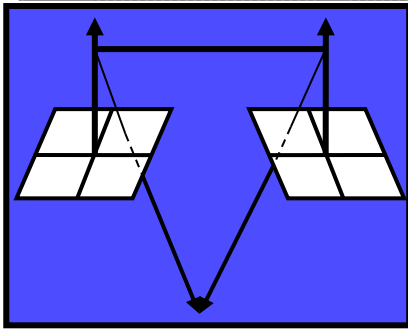
**THE ABILITY OF GEOINFORMATION ANALYZE IN RESEARCHING THE
STATE OF UKRAINE'S GEODESIC COVERING FOR ROAD INDUSTRY**

Analytical capabilities of modern GIS technologies provide a wide range of tools and means to do so. Two valuation methods were applied to provide surveying areas - spatial analysis by constructing buffer zones and establishing regulatory radius of circles size and zoning polygons Thyssen-Voronov. The evaluation surveying was performed for each of methods to the regions of Ukraine. As a result, the comparative analysis of proven efficiency of the method Voronov-Thyssen polygons for almost the entire territory of Ukraine. It was established that the combination of both methods will more efficiently use existing points of GHS and justify the location of geodetic points required for network development.

The purpose - to compare the usage of methods of buffer zones and Thyssen-Voronoho polygon's in assessing the state geodetic support and opportunities for further development using modern GIS tools.

The article results on one side can be used by research institutions to develop recommendations for the design of the state geodesic network of Ukraine, and other design and research organizations in identifying the most-effective areas for survey research using each of the items.

Keywords: geodetic software, GIS, state geodetic network Ukraine, method of buffer zones, the method Thyssen-Voronov polygons.



ФОТОГРАММЕТРІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

УДК 528.11

Ю.Ю. Атаманенко, асп. кафедри геодезії
Криворізький національний університет

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНЕЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ОПРАЦЮВАННЯ АЕРОФОТОЗНІМКІВ З БПЛА

Для встановлення обґрунтованості використання БПЛА під час картографування ДТП виконано порівняння класичних методів створення планів з методом побудови плану на основі використання технологій дронів DJI. Експериментальне випробування, здійснене на дослідному полігоні, полягало у виконанні тахеометричної зйомки, GPS-зйомки та аерофотозйомки з DJI Phantom 3 Professional. Матеріали зйомок опрацьовано в програмному забезпеченні Delta Digital, кінцевим результатом стали варіаційні ряди відстаней визначених зйомок. Виконано математичну обробку результатів подвійних нерівноточних вимірів відстані між марками на дослідному полігоні. Наведено математичні моделі апроксимації залежності середніх квадратичних похибок від різниці між довжиною виміряних відстаней, різниці між довжиною виміряних відрізків і довжиною виміряних відстаней, середніх квадратичних похибок довжини виміряних відстаней.

Ключові слова: БПЛА, відстані, тахеометрична зйомка, GPS-зйомка, програмне забезпечення Delta Digital, подвійні нерівноточні виміри, середня квадратична похибка.

Вступ. Останнім часом стрімко зростає застосування БПЛА в аерозніманні, це пояснюється тим, що собівартість аерознімання на порядок менша від застосування пілотованих літаків. Аерофотознімання є ефективним інструментом виконання геодезичних робіт, геофізичних досліджень та різноманітних видів моніторингу, тому отримані матеріали беруть за основу перед початком будівельних робіт, моніторингу стану автомобільних та залізничних доріг, аеропортів [1].

Аналіз досліджень і публікацій. Авторами публікації [2] здійснено критичний аналіз літературних джерел стосовно можливостей застосування сучасних БПЛА для великомасштабного аерознімання, у статті [3] наведено результати й аналіз аерознімання з БПЛА сільських населених пунктів, визначено проблеми, які виникають під час аерознімального процесу, та можливості їх

вирішення. В публікації [4] описано технічні можливості застосування безпілотних мобільних моделей для фіксування дорожньо-транспортних пригод. Для дослідження точності отриманих результатів подвійних нерівноточних вимірювань автор статті [5] розробляє методику визначення систематичної похибки з урахуванням ваг вимірів та виключення її з різниць і середніх значень виконаних вимірів.

Постановка завдання. Виконати оцінку точності визначення відстаней за результатами опрацювання аерофотознімків з БПЛА, тахеометричної зйомки та GPS-зйомки.

Основна частина. Кафедрою геодезії Криворізького національного університету проводяться дослідження з метою встановлення обґрунтованості використання БПЛА для фіксування ДТП. Для досягнення цієї мети виконано порівняння класичних методів створення планів з методом побудови плану на підставі використання технологій дронів DJI.

У практиці геодезичних вимірювань кожен величину вимірюють незалежно не менш як два рази, оскільки один вимір є безконтрольним. Наприклад, лінії вимірюють два рази – в прямому і зворотному напрямку, під час геометричного нівелювання перевищення на станції визначають за чорною і червоною стороною рейки, у тригонометричному нівелюванні та нівелюванні II і III класу перевищення визначають в прямому і зворотному напрямку. Такого роду пари вимірювань дістали назву подвійних вимірювань [6].

Аналіз подвійних нерівноточних вимірювань [7; 8] засвідчив, що трапляється випадки, коли подвійні виміри між собою – рівноточні, а в кожній парі – нерівноточні, тобто якщо значення тих самих величин одержано різними за точністю приладами. Саме такий випадок представлено в експериментальному вимірюванні відстані між марками на дослідному полігоні, коли довжина ліній була виміряна в процесі тахеометричної зйомки, GPS-зйомки та аерофотозйомки з БПЛА.

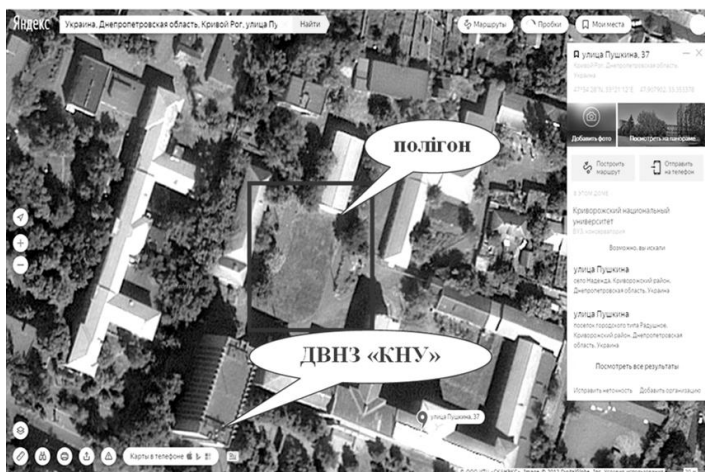


Рис. 1. Тестовий дослідний полігон на карті Яндекс

Тестовий дослідний полігон являє собою ділянку місцевості невеликої площі на території університету (рис. 1). Вздовж контуру та всередині газонного насадження закріплено 55 марок, координати яких були визначені в процесі різних видів зйомок.

У дослідженні використано тахеометр Sokkia SET 530 R, GPS-приймач TOPCON Hyper+ та квадрокоптер DJI Phantom 3 Professional [9–11].

Для опрацювання матеріалів обрано програмне забезпечення Delta Digitals [12]. Фотоматеріали, одержані в процесі аерофотозйомки, були зшиті, відмасштабовані до масштабу 1:500. Спираючись на координати трьох пунктів тахеометричної зйомки, визначено координати усіх марок на знімку з БПЛА в обраному програмному комплексі. Таким чином, після опрацювання матеріалів одержано три масиви визначених відстаней за результатами виконання трьох видів зйомок (рис. 2). Для порівняння точності визначення довжини ліній виконано оцінку точності за різницею подвійних нерівноточних вимірів.

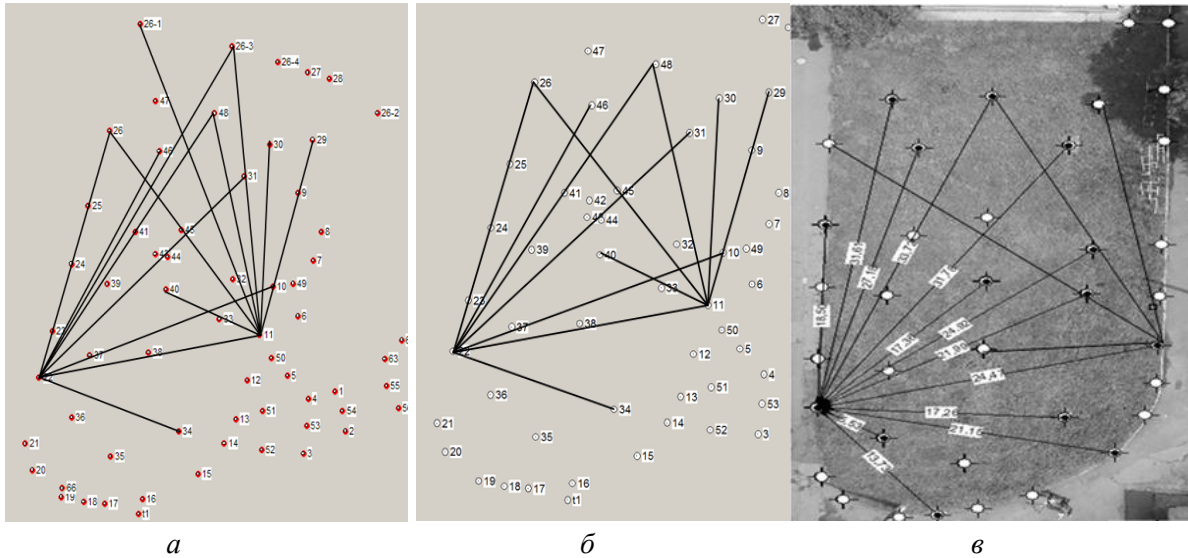


Рис. 2. Фрагменти робочих вікон програми Delta Digitals
а – тахеометрична зйомка; *б* – GPS-зйомка; *в* – аерофотознімок з БПЛА

У табл. 1 наведено масиви відстаней, виміряних на дослідному полігоні в результаті виконання трьох видів зйомок та обчислені знаменники відносних похибок.

Таблиця 1

Виміряні відстані на дослідному полігоні

Лінія	Довжини ліній			Знаменник відносної похибки	
	Тахеометрична зйомка	GPS-зйомка	БПЛА	Тахеометрична зйомка – БПЛА	GPS-зйомка – БПЛА
22 - 25	18,570	18,569	18,577	2700	2300
22 - 47	31,569	31,569	31,582	2400	2400
22 - 46	27,253	27,255	27,266	2100	2500
22 - 48	34,228	34,230	34,238	3400	4300
22 - 31	31,879	31,879	31,892	2500	2500
22 - 40	17,630	17,630	17,638	2200	2200
22 - 32	25,132	25,132	25,142	2500	2500
22 - 33	22,215	22,211	22,221	3700	2200
22 - 12	24,558	24,560	24,568	2500	3100
22 - 34	17,392	17,392	17,398	2900	2900
22 - 15	21,271	21,271	21,279	2700	2700
22 - 18	13,765	13,765	13,770	2600	2600

Закінчення табл. 1

22 - 30	36,351	36,351	36,363	3000	3000
22 - 9	36,115	36,115	36,126	3400	3400
22 - 10	29,231	29,231	29,245	2100	2100
22 - 11	26,512	26,512	26,524	2200	2200
22 - 13	23,711	23,711	23,721	2400	2400
22 - 14	22,949	22,949	22,959	2300	2300
22 - 16	17,444	17,444	17,452	2200	2200
22 - 29	40,643	40,643	40,657	2900	2900
22 - 20	9,490	9,488	9,492	5400	2500
22 - 24	12,345	12,345	12,350	2300	2200
22 - 26	26,749	26,749	26,758	3000	3000
22 - 39	12,525	12,525	12,529	3100	3100
22 -(26 - 3)	41,011	41,011	41,024	3200	3200
22 - (26 - 1)	38,351	38,351	38,363	3300	3300
22 - 17	15,078	15,078	15,085	2200	2200
11 - (26 - 3)	29,887	29,892	29,900	2300	3900
11 - (26 - 1)	34,982	34,988	34,997	2400	4100
11 - 30	19,605	19,605	19,613	2500	2500
11 - 31	16,403	16,403	16,410	2300	2300
11 - 48	23,397	23,397	23,407	2300	2300
11 - 34	13,765	13,765	13,771	2300	2300
11 - 29	21,113	21,118	21,123	2100	4200
11 - 38	13,276	13,276	13,282	2200	2200
11 - 40	12,084	12,084	12,089	2300	2300
11 - 47	26,983	26,983	26,996	2100	2100
11 - 44	13,551	13,551	13,556	2700	2700

У літературі [13; 14] вказано, що в кожній парі подвійних нерівноточних вимірів різниця становить:

$$d_i = x_i - x'_i, (i = 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

де x_i, x'_i – результати двох вимірювань одного й того самого об'єкта.

Проте сукупності різниць d_i за достатньо великої їх кількості дають можливість оцінювати точність вимірювання, а в ряді випадків виявляти систематичні похибки.

Зазначимо відразу, що з п'яти розглянутих факторів різниці d_i залежать від виконавця, приладу, методу вимірювання і зовсім не залежать від об'єкта вимірювання [15]. Тому в деяких випадках оцінка точності за різницями подвійних вимірів може виявитися завищеною, оскільки не враховує похибки центрування приладів під час вимірювання горизонтальних кутів, осідання закріплених пунктів та інших зовнішніх факторів. З цієї причини оцінку точності за різницями подвійних вимірів іноді називають оцінкою точності з внутрішньою збіжністю.

Якщо різниці подвійних вимірів d_i отримано за нерівноточними вимірами x_i , але попарно рівноточними, тобто $p_{x_i} = p'_{x_i}$, тоді маємо вагу різниць, яку визначають за формулою

$$\frac{1}{p_{d_i}} = \frac{1}{p_{x_i}} + \frac{1}{p'_{x_i}} = \frac{2}{p_{x_i}} \quad i \quad p_{d_i} = \frac{p_{x_i}}{2} = \frac{p_i}{2}. \quad (2)$$

З метою дослідження постійної систематичної похибки розглянуто нерівність

$$|[p_d d]| \leq 2,5 \frac{[|p_d d|]}{\sqrt{[p_d]}}. \quad (3)$$

Для аналізу параметрів оцінки точності використано алгоритм. У випадку, коли різниця d_i містить систематичну похибку, обчислення виконували за формулою

$$\theta = \frac{[p_d]}{[p]}, \quad (4)$$

для знаходження помилки одиниці ваги була застосована формула

$$\mu = \sqrt{\frac{[d'^2 p]}{2(n-1)}}, \quad (5)$$

а середні квадратичні похибки середніх значень $x_{i \text{ cp}} = \frac{x_i + x'_i}{2}$ розраховано за формулою

$$m_{(x_i) \text{ cp}} = \frac{\mu}{\sqrt{2p_i}}. \quad (6)$$

Узагальнювальні дані оцінки точності визначення відстаней за результатами виконаних зйомок представлено у табл. 2.

Таблиця 2

Результати оцінки точності визначення відстаней

Показники	Результати обчислень	
	Тахеометрична зйомка – БПЛА	GPS-зйомка – БПЛА
Критерій $ [p_d d] \leq 2,5 \frac{[p_d d]}{\sqrt{[p_d]}}$	$769,35 \geq 2,5 \cdot 769,35/\sqrt{76}$	$727,29 \geq 2,5 \cdot 727,29/\sqrt{76}$
Систематична похибка (θ)	$\pm 10,12$ мм	$\pm 9,57$ мм
Помилка одиниці ваги (μ)	$\pm 14,04$ мм	$\pm 14,55$ мм

Розгляд знаменників відносних похибок визначення відстаней (див. табл. 1), обчислених за координатами марок виконаних зйомок, показав, що відстані отримано з похибками, меншими ніж 1:2000, отже, використання БПЛА є обґрунтованим для знімання невеликих за протяжністю територій.

Дослідження дали змогу створити математичні моделі апроксимації залежності середніх квадратичних похибок від різниці між довжиною вимірних відстаней, залежності різниці між довжиною вимірних відрізків і довжиною вимірних відстаней, а також середніх квадратичних похибок від довжини вимірних відстаней, які представлено на рис. 3 – 5.

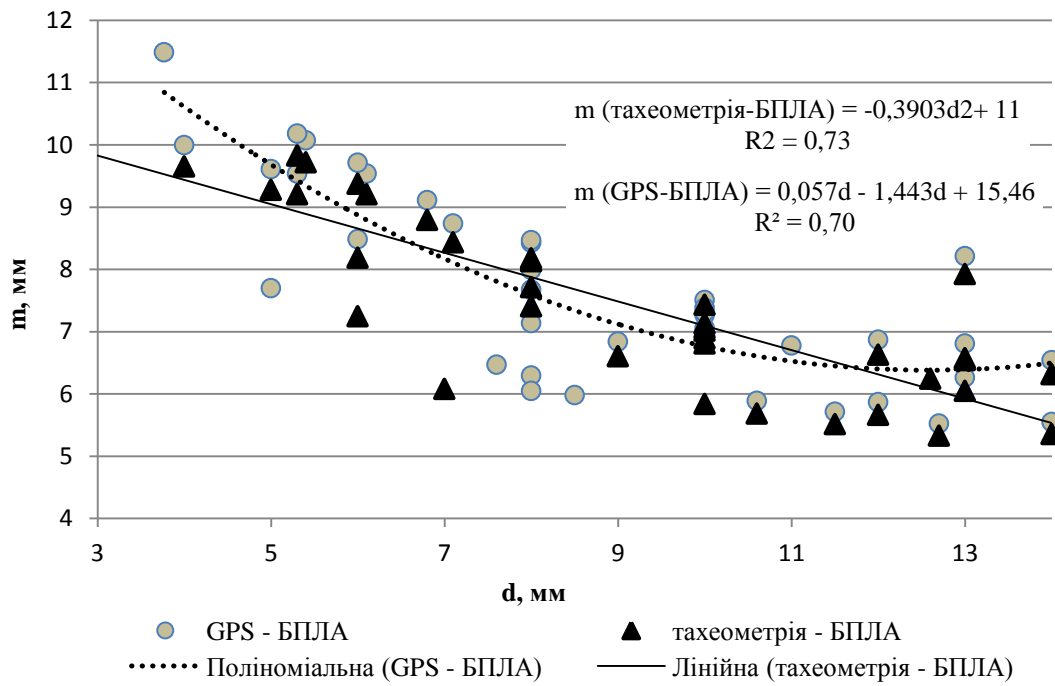


Рис. 3. Залежність середніх квадратичних похибок від різниці між довжиною вимірних відстаней

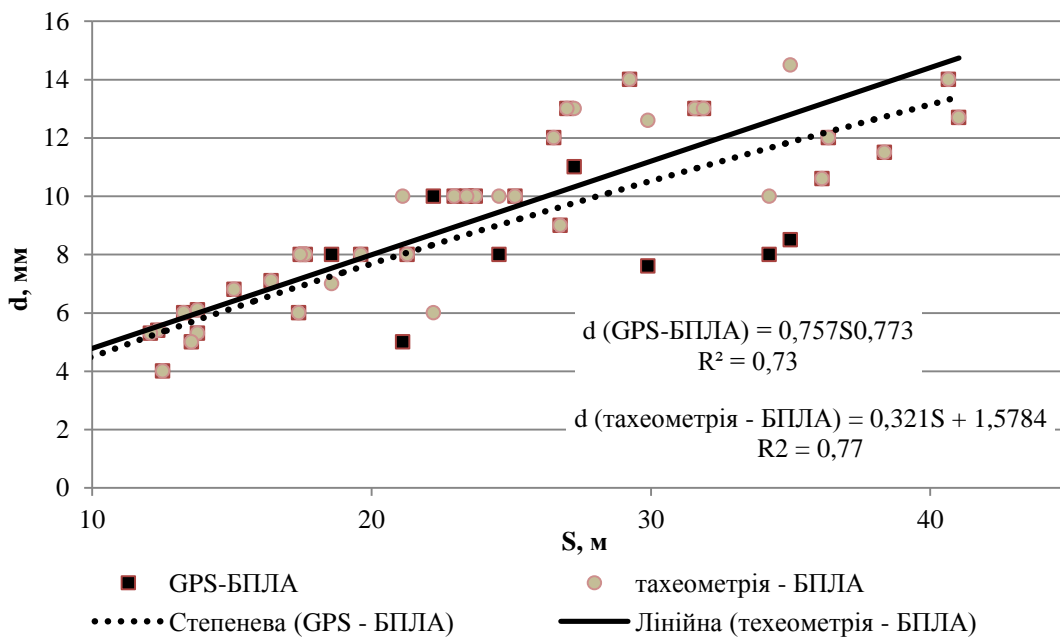


Рис. 4. Залежність різниці між довжиною вимірних відрізків і довжиною вимірних відстаней

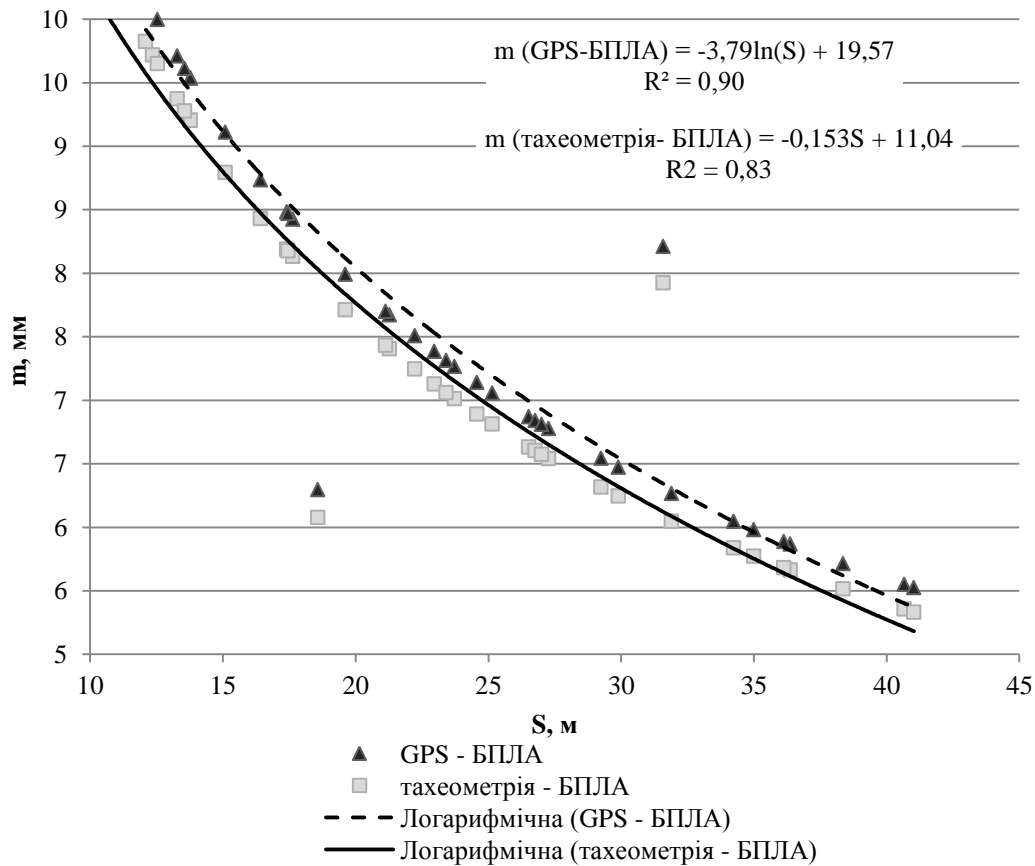


Рис. 5. Залежність середніх квадратичних похибок від довжини вимірних відстаней

Із побудованих графіків залежностей бачимо, що коефіцієнти кореляції варіюють в межах від + 0,70 до + 0,90, отже, зв'язок між змінними – сильний, а рівняння регресії є достовірними.

Висновок. Результати оцінки точності визначення відстаней, обчислених за координатами виконаних зйомок, свідчать проте, що довжину ліній знайдено з відносними похибками, меншими ніж 1:2000, отже, використання БПЛА є обґрунтованим для знімання невеликих за протяжністю територій і лінійних об'єктів, зокрема й для картографування ДТП, коли відносна похибка вимірювання відстаней на місці скоєння за вимогами «Інструкції про адміністративні правопорушення у сфері забезпечення безпеки дорожнього руху, зафіксовані не в автоматичному режимі» [16] є не більшою за 1:1000.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Барбасов В. К. Многооторные беспилотные летательные аппараты и возможности их использования для дистанционного зондирования Земли / В. К. Барбасов, М. Н. Гаврюшин, Д. О. Дрыга и др. // Инженерные изыскания. – 2012. – № 10. – С. 38 – 42.

2. *Глотов В.* Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів / В. Глотов, А. Гуніна // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2014. – Вип. II (28). – С. 65 – 70.
3. *Глотов В.* Аналіз і перспективи аерознімання з безпілотного літального апарата / В. Глотов, В. Галицький, В. Колесніченко та ін. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2014. – Вип. I (27). – С. 131 – 136.
4. *Куліковська О. Є.* Технічні можливості застосування безпілотної мобільної моделі для фіксування дорожньо-транспортних пригод / О. Є. Куліковська, Ю. Ю. Атаманенко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – Випуск I (29). – С. 84 – 87.
5. *Рябчій В. А.* Ймовірно-математичний аналіз обмеженої кількості результатів нерівноточних вимірів однієї величини [текст] / В. А. Рябчій, В. В. Рябчій // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць Зах. геод. т-ва УТГК. – Л.: Вид-во ун-ту «Львівська політехніка», 2013. – Вип. II. – С. 25 – 30.
6. *Чеботарев А. С.* Способ наименьших квадратов с основами теории вероятностей: учебник для геодезических вузов и факультетов / А. С. Чеботарев. – М.: Геодезиздат, 1958. – 606 с.
7. *Большаков В. Д.* Теория ошибок наблюдений: учеб. для вузов / В. Д. Большаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1983. – 223 с.
8. *Войтенко С. П.* Математична обробка геодезичний вимірів. Теорія похибок вимірів: навч. посіб. / С. П. Войтенко. – К.: КНУБА, 2003. – 216 с.
9. *Руководство по эксплуатации. Электронный тахеометр серии GTS-230 (GTS-233, GTS-35, GTS-236, GTS-239).* – Москва, 2003. – 173 с.
10. *Инструкция пользователя Phantom 3 Professional [Электронный ресурс].* – Режим доступа: <http://quadrone.ru>.
11. *Руководство по эксплуатации. GPS-приемник TOPCON Hyper+.* – Москва, 2006. – 162 с.
12. *Федоров Д.* Digitals. Использование в геодезии, картографии и землеустройстве / Д. Федоров // Публикация ООО «Аналитика». – 2015. – 354 с.
13. *Мазмишвили А. И.* Теория ошибок и метод наименьших квадратов / А. И. Мазмишвили. – М.: Недра, 1978. – 311 с.
14. *Видуев Н. Г.* Вероятностно-статистический анализ погрешностей измерений / Н. Г. Видуев, Г. С. Кондра. – М.: Недра, 1969. – 320 с.
15. *Зазуляк П. М.* Основи математичного опрацювання геодезичних вимірювань / П. М. Зазуляк, В. І. Гавриш, Е. М. Євсєєва, М. Д. Йосипчук. – Львів: Растр-7, 2007. – 408 с.
16. *Інструкції про адміністративні правопорушення у сфері забезпечення безпеки дорожнього руху, зафіксовані не в автоматичному режимі [Електронний ресурс].* – Режим доступу: zakon.rada.gov.ua.

REFERENCES

1. Barbasov V. K., Gavryushin M. N., Dryga D. O. i dr. (2012) Mnogorotornye bespilotnye letatelnye apparaty i vozmozhnosti ih ispolzovaniya dlya distantsionnogo zondirovaniya Zemli [Multi-rotor unmanned aerial vehicles and

possibilities of their use for remote sensing of the Earth]. *Inzhenernye izyskaniya*, no. 10, pp. 38 – 42.

2. Glotov V., Gunina A. (2014) Analiz mozhlivostey zastosuvannya bezpilotnih litalnih aparativ dlya aeroznimalnih protsesiv [Analysis of the possibilities of using unmanned aerial vehicles for aerial survey processes]. *Suchasni dosyagnennya geodezichnoyi nauki ta virobnitstva*, (Is II (28)), (pp. 65 – 70) [in Ukrainian].

3. Glotov V., Galitskiy V., Kolesnichenko V., Prohorchuk O., Tserklevich A., Zbrutskiy O., Karnaushenko R. (2014) Analiz i perspektivi aeroznimannya z bezpilotnogo litalnogo aparata [Analysis i perspective of aeroznimannya z pyloplotnogo litalnogo aparata]. *Suchasni dosyagnennya geodezichnoyi nauki ta virobnitstva*, (Is I (27)), (pp. 131 – 136) [in Ukrainian].

4. Kulikovska O. E., Atamanenko Yu. Yu. (2015) Tehnichni mozhlivosti zastosuvannya bezpilotnoyi mobilnoyi modeli dlya fiksuвання dorozhno-transportnih prigod [Technical possibilities of application of unmanned mobile model for registering accidents]. *Suchasni dosyagnennya geodezichnoyi nauki ta virobnitstva*, (Is I (29)), (pp. 84 – 87) [in Ukrainian].

5. Ryabchiy V. A., Ryabchiy V. V. (2013) Ymovirno-matematichniy analiz obmezhenoyi kilkosti rezultativ nerivnotochnih vimiriv odnieyi velichini [Probable-mathematical analysis of a limited number of unevenly accurate measurements of a single value]. *Suchasni dosyagnennya geodezichnoyi nauki ta virobnitstva*, (Is II (26)), (pp. 25 – 30) [in Ukrainian].

6. Chebotarev A. S. (1958) Sposob naimenshih kvadratov s osnovami teorii veroyatnostey [The method of least squares with the basics of probability theory]. – Moscow: Geodezizdat [in Russian].

7. Bolshakov V. D. (1983) Teoriya oshibok nablyudeniy: ucheb. dlya vuzov [Theory of errors of observations: Textbook. For universities]. – Moscow: Nedra [in Russian].

8. Voytenko C. P. (2003) Matematichna obrobka geodezichniy vimiriv. Teoriya pohibok vimiriv: navch. Posib [Mathematical processing of geodetic measurements. Theory of measurement errors: Textbook]. – Kiev: KNUBA [in Ukrainian].

9. Rukovodstvo po ekspluatatsii Elektronnyy taheometr serii GTS-230 (GTS-233, GTS-35, GTS-236, GTS-239) (2003) [Manual. Electronic tacheometer GTS-230 series (GTS-233, GTS-35, GTS-236, GTS-239)]. – Moscow [in Russian].

10. Instruksiya polzovatelya Phantom 3 Professional [Instruction manual for Phantom 3 Professional]. <http://quadrone.ru>. Retrieved from <http://quadrone.ru>. [in Russian].

11. Rukovodstvo po ekspluatatsii. GPS-priemnik TOPCON Hiper+ (2006) [Instruction manual. GPS-receiver TOPCON Hiper +]. – Moscow [in Russian].

12. Fedorov D. (2015) Digitaly. Ispolzovanie v geodezii, kartografii i zemleustroytve [Digitals. Use in geodesy, cartography and land management]. Publikatsiya OOO «Analitika» [in Ukrainian].

13. Mazmishvili A. I. Teoriya oshibok i metod naymenshih kvadratov (1978) [The theory of errors and the method of least squares]. – Moscow: Nedra [in Russian].

14. Viduev N. G., Kondra G. S. Veroyatnostno-statisticheskiy analiz pogrishnostey izmereniy (1969) [Probabilistic-statistical analysis of measurement errors]. – Moscow: Nedra [in Russian].

15. Zazulyak P. M., Gavrish V. I., Evseeva E. M., Yosipchuk M. D. (2007) Osnovi matematichnogo opratsyuvannya geodezichnih vimiryuvan [Foundations of mathematical opraced geodesic vimiryuvan]. – Lviv [in Ukrainian].

16. Instruktsiyi pro administrativni pravoporushennya u sferi zabezpechennya bezpeki dorozhnogo ruhu, zafiksovani ne v avtomatichnomu rezhimi (2015) [About claim of instruction about administrative violation in the field of providing of safety of travelling motion fixer not in the automatic mode]. zakon.rada.gov.ua. Retrieved from: zakon.rada.gov.ua. [in Ukrainian].

Ю. Ю. Атаманенко

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОБРАБОТКИ АЭРОФОТОСНИМКОВ С БПЛА

Для установления обоснованности использования БПЛА при картографировании ДТП выполнено сравнение классических методов создания планов по методу построения плана на основе использования технологий дронов DJI. Экспериментальное испытание осуществлялось на опытном полигоне, и состояло в выполнении тахеометрической съемки, GPS-съемки и аэрофотосъемки с DJI Phantom 3 Professional. Материалы съемок обрабатывали в программном обеспечении Delta Digital, конечным результатом стали вариационные ряды расстояний определенных съемок. Проведено математическую обработку результатов двойных неравноточных измерений расстояний между марками на опытном полигоне. Приведены математические модели аппроксимации зависимостей средних квадратических погрешностей от разницы между длинами измеренных расстояний, разницы между длинами измеренных отрезков от длин измеренных расстояний, средних квадратичных погрешностей от длин измеренных расстояний.

Ключевые слова: БПЛА, расстояния, тахеометрическая съемка, GPS-съемка, программное обеспечение Delta Digital, двойные неравноточных измерения, средняя квадратическая ошибка.

Yu. Yu. Atamanenko

EVALUATION OF DISTANCES DETECTION ACCURACY BY THE RESULTS OF AIR PHOTOGRAPHING PROCESSING WITH UAV

To establish the validity of the use of unmanned aerial vehicles for fixing and mapping of road accidents, a comparison is made between the classical methods of creating plans based on the method of designing a plan based on the use of modern technologies of DJI drones. The experimental test was carried out on the test site, namely on the territory of the State Institution of Higher Education "Kryvyi Rih National University" and consisted in performing tacheometric survey, GPS survey and aerial photography from an unmanned aerial vehicle - DJI Phantom 3 Professional. The materials of the filming were studied in the Delta Digital software, the final result was

the variation series of the distances of certain surveys. A detailed mathematical treatment of the results of double non-equal measurements of distances between brands at the test site in terms of the significance of the systematic error was made, the mean square errors of the mean measured distances and the denominators of the relative errors in the distance lengths of the surveys were calculated. The mathematical models of approximations of the dependencies of the mean square errors on the difference between the lengths of the measured distances, the difference between the lengths of the measured segments from the lengths of the measured distances, the mean square errors from the lengths of the measured distances are given. The regression equations and correlation coefficients are given, the relation between the obtained indices is determined.

Keywords: UAV, distances, tachometric survey, GPS-survey, software Delta Digital, double non-equal measurements, mean square errors.

Надійшла до редакції

26.05.2017

УДК 528.8.04

Л.Ю. Солом'янчук, асп. кафедри геоінформатики та фотограмметрії

Київський національний університет будівництва і архітектури

ТОВ «ЕСОММ Со», старший інженер комп'ютерних систем (ГІС)

АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ ДАНИХ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

У статті проаналізовано використання даних дистанційного зондування землі в сільському господарстві. Розглянуто досвід використання даних дистанційного зондування землі в США, Китаї та Казахстані для моніторингу стану сільськогосподарських культур. Визначено основні завдання, які можуть бути вирішені за допомогою даних дистанційного зондування землі в сільському господарстві. Обґрунтовано потребу у створенні методичних рекомендацій щодо використання даних ДЗЗ для моніторингу стану сільськогосподарських культур в Україні.

Ключові слова: дані дистанційного зондування землі, роздільна здатність, сільське господарство, моніторинг.

Вступ. Сільське господарство є важливою галуззю економіки України. Агропромислова політика держави нині спрямована на те, щоб зробити цю галузь високоефективною та високорентабельною, а також орієнтованою на експорт вітчизняної сільськогосподарської продукції.

Для успішного ведення сільського господарства потрібно щодня обробляти й аналізувати велику кількість інформації, яка зазвичай є досить різнохарактерною та містить сукупність природних, економічних і соціальних показників, що взаємодіють між собою. Повноцінний багатофакторний аналіз

різнопланової інформації на сучасному рівні потребує використання новітніх технологій.

Починаючи з 1970-х років дані дистанційного зондування землі почали активно використовувати для моніторингу стану сільськогосподарських територій. Це пов'язано із запуском великої кількості супутників та наявністю різноманітних даних дистанційних спостережень.

Аналіз досліджень і публікацій. Нині дані дистанційного зондування землі активно застосовують в багатьох країнах світу для моніторингу фактичного використання земель, а саме для оцінки площ посівів, стану сільськогосподарських культур, прогнозування їх розвитку і врожайності, стану рослинності загалом, контролю за екологічною безпекою, для автоматичної оцінки стану земель, оцінки змін ландшафту, контролю за сівозмінами, у більшості країнах Європейського Союзу – також для контролю за використанням субсидій на ведення сільського господарства та коштів у сфері сільськогосподарського виробництва.

Постановка завдання. Метою статті є аналіз досвіду використання даних дистанційного зондування землі для збору й аналізу інформації, а також для оперативного прийняття управлінських рішень.

Основна частина. Протягом 20 років у багатьох країнах світу (Канада, США, країни ЄС, Індія, Японія, Китай та ін.) державні служби у своїй діяльності широко використовують ДДЗ сільськогосподарських угідь. Наприклад, система MARS (сільськогосподарський моніторинг на основі ДДЗ), запроваджена в країнах Європейського Союзу, дає змогу визначати площу посівів і врожайність сільськогосподарських культур як у масштабах країни, так й окремих фермерських господарств. Результати аналізу використовують для оптимізації управління сільськогосподарським виробництвом, зокрема для контролю за обсягами виробництва в межах державних програм з підтримки сільськогосподарських виробників [2].

Багаторічний досвід різнопланового практичного застосування ДДЗ накопичено і в Сполучених Штатах Америки. У всіх штатах науково-дослідні та прикладні роботи виконує сільськогосподарська служба, служба охорони природи та стабілізації в сільському господарстві, бюро з меліорації, бюро з управління земельними площами та ін. Наприклад, на полігонах у штатах Південна Дакота й Арізона матеріали наземних досліджень, аерофотознімання та супутникові дані широко використовують для потреб сільськогосподарського виробництва: оцінки врожайності і продуктивності пасовищ, виявлення зв'язку між родючістю і вологістю, топографією місцевості, картографування ґрунтового і рослинного покривів. При департаменті сільського господарства США є спеціальний відділ – Foreign Agricultural Service (FAS USDA), що займається моніторингом країн – виробників сільськогосподарської продукції й активно використовує супутникові дані. Результати аналізу публікують кожні два тижні в спеціальному комерційному бюлетені World Agricultural Statistical Production Estimation.

Національна сільськогосподарська статистична служба (NASS) забезпечує актуальною та достовірною статистичною інформацією для ведення сільського господарства США. Статистична інформація охоплює кожен аспект

сільськогосподарської діяльності – від отримання і постачання сільськогосподарської продукції до вартості продукції та доходів фермерів. Кожні п'ять років NASS здійснює сільськогосподарський перепис з метою всебічного статистичного огляду аспектів сільськогосподарської діяльності США. Технології та дані дистанційного зондування Землі є одним з головних інструментів, що підвищують точність статистичних даних. NASS використовує дані ДЗЗ для збору і перевірки статистичних даних, оцінки посівних площ, а також створення спеціальних шарів сільськогосподарського землекористування для ГІС [1].

Варто також відзначити, що NASS використовує знімки Landsat, цифрові ортофотоплани та інші матеріали ДЗЗ на територію штатів з метою вибору тестових територій для вимірювання цілісності та достовірності сільськогосподарського перепису, створення базису для наземного сільськогосподарського знімання. Крім того, щороку NASS створює нові тестові полігони для двох штатів. У проєкті оцінки територій, обробленої за допомогою ДДЗ, аналізуються дані з супутника Resourcesat-2 AWiFS для штатів, що є основними виробниками сої та кукурудзи, з метою отримання незалежних величин площ на рівні штатів та країни загалом. Також за допомогою ДДЗ проводиться категоризація сільськогосподарських земель за типами оброблюваних культур. NASS постійно співпрацює з сільськогосподарською науково-дослідною службою департаменту сільського господарства США (USDA) в галузі використання даних MODIS для раннього прогнозування урожаю.

Система GIEWS, розроблена організацією з продовольства і сільського господарства (Food and Agriculture Organization, FAO), була запроваджена в 1975 р. для прогнозування попиту і пропозиції на сільськогосподарську продукцію. GIEWS провадить моніторинг виробництва, запасів, торгівлі і ринкових цін на сільськогосподарську продукцію в глобальному масштабі. Інформацію GIEWS використовують для прогнозування ймовірної значної нестачі продовольства в окремих регіонах, для того щоб ООН, інші міжнародні та національні агентства могли оцінити потреби в допомозі. GIEWS регулярно інформує про ситуацію в регіонах, де ризик нестачі продовольства є найвищим. У GIEWS використовуються дані дистанційного зондування землі низької роздільної здатності для визначення кількості опадів і моніторингу розвитку рослинності. GIEWS використовує також інформацію ДЗЗ про типи земного покриву та землекористування разом з даними сільськогосподарської статистики, інформацією про сільськогосподарські ринки і погодні умови для моніторингу і прогнозування виробництва сільськогосподарської продукції.

У Китаї дослідження щодо застосування даних ДЗЗ для цілей сільськогосподарського моніторингу розпочалися наприкінці 1970-х рр., а в 1990-х впроваджено оперативну систему моніторингу посівів.

Сучасна оперативна система сільськогосподарського моніторингу в КНР охоплює систему космічного сільськогосподарського моніторингу Міністерства сільськогосподарства Китаю (CHARMS), систему спостереження за посівами академії наук КНР (CCWS) та систему моніторингу вирощування

сільськогосподарських культур і прогнозування врожайності Метеорологічної служби країни.

Система CHARMS була розроблена центром застосування даних ДЗЗ Міністерства сільського господарства КНР. Вона здійснює моніторинг площ посівів сільськогосподарських культур, врожайності, продуктивності, засухи та інших сільськогосподарських параметрів для п'яťох основних культур Китаю. Для цього використовують дані, отримані із супутників Landsat, SPOT, IRS, Envisat, Terra / MODIS та ін. Центр надає інформацію Міністерству сільського господарства та відповідним сільськогосподарським управлінням у встановлені дати п'ять разів на місяць протягом вегетаційного періоду. У той же час проводяться наземні обстеження на тестових полях, яких в КНР налічується близько шести тисяч.

Систему CCWS розроблено інститутом дистанційного зондування академії наук в 1998 році. В рамках CCWS здійснюється моніторинг умов вирощування сільськогосподарських культур, продуктивності, засухи, структури полів та індексу збору врожаю [1].

У 2004 році національне статистичне бюро КНР почало використовувати дані ДЗЗ для поліпшення сільськогосподарської статистики. Технології дистанційного зондування широко застосовують для сільськогосподарського моніторингу та менеджменту в Китаї. Актуальною для країни є проблема відведення сільськогосподарських земель під забудову. Саме тому Міністерство земельних і природних ресурсів Китаю виконує роботи з виявлення, за даними ДЗЗ, земель, які не використовуються за призначенням.

З-поміж країн пострадянського простору одним з найактивніших користувачів даних ДЗЗ є Казахстан (проект «Національна система космічного моніторингу сільського господарства»). Практичне використання ДДЗ для визначення розмірів посівних площ ярих зернових культур у Північному Казахстані було ініційоване на замовлення уряду Республіки Казахстан в 1997 році. На початку проекту використовувалися супутникові дані низької роздільної здатності (розрізнялися об'єкти, лінійні розміри яких перевищували 1100 м). У 2000-2001 рр. за допомогою спеціальної програми технічної допомоги Європейського Союзу (TACIS, проект ISEAM) була впроваджена європейська технологія аналізу сільськогосподарського виробництва. Відповідність між наземними зніманнями однієї з областей республіки та даними дешифрування космічної інформації середньої роздільної здатності (PESURC / MSU-CK та TERRA / MODIS) становила понад 95%. З 1327 сільськогосподарських полів, розпізнаних на основі ДДЗ як посіви ярих зернових культур, засіяними зерновими виявилися 1268 полів. Аналіз виявив, що невідповідність розміром 5% пояснюється переважно використанням знімків, частина території на яких на момент зйомки була закрита хмарами. У 2002 році протягом вегетаційного сезону проведено космічний моніторинг сільськогосподарських угідь ще п'яťох областей, що охоплював оцінку посівних площ і прогноз врожайності зернових культур на підставі даних, одержаних з супутників NOAA, MODIS та Метеор-3М. Для кожної області побудовано карти-схеми розміщення посівів у масштабі 1:1 000 000, розраховано розмір посівних площ, виконано аналіз

агrometeorологічних умов за період від травня до липня та складено прогноз врожайності, представлений в обсязі валової продукції.

У багатьох країнах діють національні системи моніторингу сільського господарства з використанням даних ДЗЗ. Тому, аналізуючи світовий досвід із застосування ДДЗ в сільському господарстві, можна відзначити, що для оперативного моніторингу земель сільськогосподарського призначення найчастіше застосовують два основні методи:

- використання даних низької та середньої роздільної здатності для покриття великих територій. Ці дані можуть бути отримані практично для будь-якого регіону, мають низьку вартість та високу періодичність (до декількох знімків на добу). Аналіз послідовних серій зображень дає змогу створювати на їх основі синтезовані карти за багатьма параметрами;

- використання даних високої роздільної здатності для окремих територій. Висока вартість цих даних, неповне покриття потрібних регіонів та недостатня періодичність не завжди дають можливість використовувати такі дані для оперативного моніторингу, однак вони цілком придатні для картографування земель сільськогосподарського призначення, розпізнавання культур (разом з даними еталонних ділянок) для розв'язання різноманітних прикладних завдань на регіональному та районному рівнях.

Особливого значення методи ДЗЗ набувають також у відносно новій сфері сільського господарства - «точному землеробстві», суть якого полягає в тому, що для отримання максимально якісної та найбільш дешевої продукції з певного поля для всіх рослин сільгоспугіддя створюють однакові умови вирощування та дозрівання, без порушення норм екологічної безпеки. «Точне землеробство» впроваджують шляхом поступового освоєння нових агротехнологій на основі використання сучасних високоефективних й екологічно безпечних технічних та агрохімічних засобів.

Першочергове значення для «точного землеробства» має постійний контроль за станом рослинності. Важливою складовою цієї технології є своєчасне виявлення і локалізація ділянок пригніченого стану рослинності в межах одного поля, що може бути спричинене різними факторами: враженням рослин шкідниками, наявністю бур'янів тощо. Для оперативного реагування на такі ситуації необхідне дотримання таких вимог: можливість оперативного отримання даних ДЗЗ та їх обробки; наявність даних високої та надвисокої роздільної здатності для підвищення точності визначення біофізичних параметрів рослинного покриву; наявність мультиспектральних даних, що дають змогу визначити відмінності спектральних характеристик зображення; наявність даних, отриманих з достатньою періодичністю.

Висновки. Нині в багатьох країнах світу ДЗЗ є потужним джерелом отримання актуальної й оперативної просторової інформації, яку широко використовують для вирішення різноманітних завдань, зокрема для моніторингу стану сільськогосподарських культур. Використання даних ДЗЗ в сільському господарстві дає можливість вирішувати ряд проблем, а саме: знижувати затрати на виконання наземних обстежень сільськогосподарських угідь, отримувати високоточну і надійну інформацію, провадити моніторинг стану агрокультур, а

також прогнозувати врожайність та інші характеристики сільськогосподарських земель.

В Україні використання даних ДЗЗ для моніторингу стану сільськогосподарських культур є практично не розвинутим напрямом. Правові основи моніторингу земель визначено ст. 191 Земельного кодексу України, згідно з яким його територіальними рівнями є національний, регіональний і локальний (їх вибір залежить від цілей спостережень та ступеня охоплення моніторингом різнорангових територій). Функцію ведення моніторингу земель покладено на центральні органи виконавчої влади, що реалізують державну політику у сфері земельних відносин та сфері охорони навколишнього природного середовища [5].

Тому з огляду на важливе екологічне, економічне та соціальне значення сільського господарства в Україні, брак об'єктивної та достовірної інформації про використання орних земель можна стверджувати, що використання методів супутникового моніторингу сільськогосподарських земель України варто вважати пріоритетним завданням сільського господарства.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мышляков С.Г. Системы космического мониторинга сельскохозяйственных земель Европейского союза, США, Китая / С. Г. Мышляков // Геоматика. – 2012. – №2. – С. 87-90.
2. Абросимов А.В. Перспективы применения данных ДЗЗ из космоса для повышения эффективности сельского хозяйства в России / А.В. Абросимов, Б.А. Дворкин // Геоматика. – 2009. – №4. – С. 46-49.
3. Минсельхоз ставит на новые технологии: внедрение ГИС в сельском хозяйстве началось [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.dataplus.ru/news/arcreview/> – Назва з екрана.
4. Геоинформационное картографирование сельскохозяйственной растительности, [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://1111.ru/agriculture/>. – Назва з екрана.
5. Земельний кодекс України // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2002. – № 3-4. – 27 с.
6. Remote Sensing of Irrigated Agriculture: Opportunities and Challenges, [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.mdpi.com/journal/remotesensing> – Назва з екрана.

REFERENCES

1. Myshliukov, S.H. (2012) *Sistema kosmicheskogo monitoringa selkohoziustvenuh zemel Yevropeiskogo soiuz, SShA, Kitaia* [Space monitoring systems of agricultural lands of the European Union, USA, China]. Geomatica, 87-90 [in Russian].
2. Abrosimov, A.V. Dvorkin, B.A. (2009) *Perspektivy prymeneniia danyh DZZ iz kostosa dlia povysheniya effektivnosti selskogo khosiaistva v Rossii* [Perspectives of using remote sensing data from space for increasing the efficiency of agriculture in Russia]. 87-90 [in Russian].

3. *Minselkhoz stavit na novye tekhnologii: vnedrenie GIS v selskom khoziaistve nachalos* [The Ministry of Agriculture stake on using new technologies: the introduction of GIS in agriculture began], [in Russian]. Retrieved from <https://www.dataplus.ru/news/arcreview/>.
4. *Geoinformatsionoe kartografirovanie selskokhosiaistvenoi rastitelnosti* [Geoinformation mapping of agricultural vegetation], [in Russian]. Retrieved from <http://1111.ru/agriculture/>.
5. *Zemelnyi kodeks Ukrainy*, 27 [in Ukrainian].
6. *Remote Sensing of Irrigated Agriculture: Opportunities and Challenges*. Retrieved from <http://www.mdpi.com/journal/remotesensing>.

Л.Ю. Соломянчук

АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ

В статье проанализировано использование данных дистанционного зондирования земли в сельском хозяйстве. Рассмотрен опыт использования данных дистанционного зондирования земли в США, Китае и Казахстане для мониторинга состояния сельскохозяйственных культур. Определены основные задачи, которые могут быть решены с использованием данных дистанционного зондирования земли в сельском хозяйстве. Обоснована необходимость в создании методических рекомендаций относительно использования данных ДЗЗ для мониторинга состояния сельскохозяйственных культур в Украине.

Ключевые слова: *данные дистанционного зондирования земли, разрешение, сельское хозяйство, мониторинг.*

L. Solomianchuk

ANALYSIS OF THE USE OF REMOTE SENSING DATA IN AGRICULTURE

In the article the usage of remote sensing data in agriculture was analyzed. The experience of using remote sensing data in the USA, China and Kazakhstan for monitoring the state of crops was also considered. The basic tasks which can be solved using the data of remote sensing of land in agriculture are determined. As a result of the analysis of world experience of the using of remote sensing data in agriculture, the main methods of operational monitoring of agricultural land was identified. Given the current importance of ecological, economic and social magnitude of agriculture in Ukraine, the lack of objective and reliable information about the usage of tillable land, the necessity for the creation of methodical recommendations for the usage of remote sensing data for monitoring the state of crops in Ukraine is substantiated.

Key words: *remote sensing data, resolution, agriculture, monitoring.*

О.М. Гончерюк, асп.кафедри інженерної геодезії
Київський національний університет будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ТА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОГО КАЛІБРУВАННЯ ЦИФРОВИХ НЕМЕТРИЧНИХ КАМЕР ЗА ПЛОЩИННИМИ ТЕСТОВИМИ ОБ'ЄКТАМИ

У роботі виконано детальний аналіз і практичні експериментальні дослідження програмних засобів для калібрування цифрових неметричних камер. Запропоновано класифікацію програмних засобів, в основу якої покладено критерії вартості, моделі врахування дисторсії об'єктива, стабільності і точності обчислювального алгоритму. Оскільки цифрові неметричні камери використовують переважно для вирішення прикладних локальних завдань, найбільш ефективним є використання недорогого спеціалізованого програмного забезпечення. В роботі досліджено умовно дорогі програми *Australis* (Австралія), *PhotoScan Pro* (Ізраїль), *PhotoModeler* (США) та *3D Image Master* (Японія). Кожна з цих програм має певні переваги і недоліки, найефективнішою виявилася програма *PhotoModeler*. Найбільш цікаві результати були отримані в процесі дослідження дешевих програмних засобів: *XSIGNO Photogrammetry* (Японія), *GML Camera Calibration* (Росія), *Camera Calibration Tools* (Великобританія), *CameraCalibrator* (фірма *Photometrix*, розробник *iWitness* и *Australis*), *Image Master Calib* (фірма *TOPCON*), *Agisoft Lens* (фірма *Agisoft*, розробник *PhotoScan Pro*), *Fauncal Matlab*, *Matlab Camera Calibration TOOLBOX*. Загальний аналіз результатів засвідчив, що у калібруванні перевагу слід віддати програмам типу *PhotoModeler*, а за фінансових обмежень – програмам типу *Fauncal* для *Matlab*.

Ключові слова: цифрова фотограмметрія, неметрична камера, калібрування, параметри дисторсії, тестовий об'єкт.

Вступ. Сучасна інженерна геодезія є галуззю знань, в якій знаходять застосування останні досягнення як із суміжних з нею напрямів, таких як вища геодезія, навігація, глобальні навігаційні супутникові системи, фотограмметрія та ін., так і з сучасних технологій в інших галузях – цифрового оброблення зображень і сигналів, комп'ютерного і геометричного моделювання, будівництва та експлуатації будівель і споруд та ін. Результатом такого симбіозу стало виникнення нового напрямку досліджень, який можна назвати *інженерною цифровою фотограмметрією*.

Завданням інженерної цифрової фотограмметрії є вирішення завдань інженерної геодезії засобами фотограмметрії на основі цифрових технологій. На відміну від класичної інженерної (прикладної) фотограмметрії в інженерній цифровій фотограмметрії засобами отримання інформації є не аналогові фототеодоліти або плівкові камери, а цифрові камери будь-якого класу (від цифрових камер мобільних телефонів до професійних цифрових камер вищого класу) або фототахеометри.

Від часу появи цифрових технологій їх застосування значно розширило можливості фотограмметрії [5; 7; 8; 10]. З'явилась можливість в режимі реального часу контролювати якість отриманих фотографічних матеріалів, відпала потреба у фотохімічному процесі, а оперативність оброблення даних зросла в кілька разів. Цифрові технології зумовили появу цілком нових типів вихідної продукції, таких як цифрові ортофотоплани, цифрові тривимірні моделі об'єктів та тривимірні моделі об'єктів з реальною текстурою. Зайве нагадувати, що всі ці типи продукції без проблем безпосередньо інтегруються в системи автоматизованого проектування та геоінформаційні системи для подальшого оброблення, проектування та створення комплексної інформаційної продукції більш високого рівня.

Особливістю сучасної інженерної цифрової фотограмметрії є дуже висока порівнянно з звичайною фотограмметрією, яку часто називають фототопографією, точність визначення координат точок об'єктів. Фактично точність інженерної цифрової фотограмметрії відповідає точності, якої потребують завдання інженерної геодезії: інженерно-геодезичне проектування, виконавчі знімання, спостереження за деформаціями та переміщеннями.

Окремо слід сказати, що сфера застосування інженерної фотограмметрії не обмежується проблематикою, пов'язаною із завданнями будівництва й експлуатації інженерних споруд. Фактично сфера інженерної фотограмметрії розпочинається з об'єктів мікросвіту – це завдання медицини, біології, атомної енергетики, дослідження ґрунтів, поступово переходячи до об'єктів машинобудування, виготовлення окремих деталей машин, літаків, суден і закінчується великими інженерними та промисловими об'єктами, такими як просторові оболонки покриттів, мости, літаки, судна, архітектурні пам'ятки. До кожного з названих типів об'єктів дослідження інженерної цифрової фотограмметрії змінюється відповідно до їх розміру: 0,0005 мм – 5 мм; 0,01 м – 5 м; 5 м – 100 м. За таких умов змінюється точність отримання координат точок об'єктів від 0,00001 до 50 мм. Варто зауважити, що жодна з технологій не працює в такому широкому діапазоні відстаней і точності.

Досягнення такої точності є вельми складним і комплексним завданням, яке потребує врахування величезної кількості факторів, що впливають на кінцеву точність визначення координат окремої точки за допомогою методів інженерної цифрової фотограмметрії. Одним з найбільш суттєвих й одночасно таким, який важко врахувати, є фактор точного визначення внутрішньої геометрії цифрової фотокамери. Технологія визначення параметрів внутрішньої геометрії фотокамери дістала назву калібрування. Внутрішня геометрія камери визначається її елементами внутрішнього орієнтування та моделлю врахування дисторсії об'єктива. Пошук та дослідження оптимального методу визначення внутрішньої геометрії фотокамери залишається одним з основних завдань фотограмметрії.

Нині застосовують чимало програмного забезпечення для калібрування цифрових неметричних камер. Класифікація та дослідження такого програмного забезпечення є актуальним завданням фотограмметрії.

Аналіз досліджень і публікацій. Безпосередньо питання дослідження програмного забезпечення для калібрування цифрових неметричних камер ані у вітчизняній, ані у закордонній літературі не досліджено. Варто відмітити, що більшість робіт з калібрування спрямована на пошук моделей врахування дисторсії об'єктива. Такі дослідження наведено у багатьох роботах, зокрема [12; 15; 16]. Цей перелік є скоріше прикладом виконаних досліджень, ніж їх аналізом. Сучасне програмне забезпечення для калібрування ґрунтується не тільки на моделях дисторсії, іншими важливими складовими є алгоритми автоматичного розпізнавання марок, автоматичного орієнтування знімків, стабільність обчислювального алгоритму. З другого боку, результати калібрування залежать від типу тестового об'єкта, який використано для певного типу програмного забезпечення – плоский або просторовий; кодові марки або сітка точок з фіксованим кроком. Таким чином, актуальність роботи не викликає сумнівів, оскільки подібні дослідження, з огляду на викладене, є вкрай потрібними.

Мета роботи. Метою роботи є аналіз і дослідження програмного забезпечення для калібрування цифрових неметричних камер за результатами калібрування площинних тестових об'єктів.

Виклад основного матеріалу. Широке впровадження у сферу фотограмметрії та інженерної фотограмметрії цифрових фотокамер сприяло виникненню та розробленню принципово нових методик та технологій фотограмметричних робіт. Якщо для цифрових аерофотознімальних комплексів або геометрія фотокамери є відомою, або параметри геометрії є достатньо стабільними в часі, то для інженерної цифрової фотограмметрії характерним є використання цифрових неметричних камер. Вартість цифрових аерофотознімальних комплексів та обсяги виконуваних ними робіт дають виробникам змогу використовувати складні багатокомпонентні об'єктиви, високоякісні ПЗЗ-матриці або ПЗЗ-лінійки та високоякісні корпуси для аерофотокамер. У вирішенні прикладних інженерних завдань вартість знімального обладнання дуже часто є одним з вагомих факторів, що дає можливість зменшити вартість робіт, тому для знімання у переважній більшості випадків використовують тільки цифрові неметричні камери або фототахеометри, камери яких також є неметричними. У таких випадках на перше місце виходить завдання з калібрування цифрових неметричних камер.

На теперішній час розроблено величезну кількість варіантів калібрування цифрових фотокамер. Ці варіанти відрізняються за методом калібрування (лабораторне або польове калібрування; самокалібрування), виглядом тестового об'єкта (плоский, просторовий), методом калібрування (метод зон, метод зв'язок, метод прямого лінійного перетворення), типом математичної моделі врахування дисторсії (алгебраїчна або фізична модель) та ін. Отже, актуальним є завдання вибору оптимального програмного забезпечення для калібрування. Спершу спробуємо класифікувати програмне забезпечення.

За своїм призначенням програмні засоби для калібрування можна поділити на три групи.

Перша група. Потужні фотограмметричні програмні комплекси, призначені для вирішення більшості фотограмметричних завдань, зокрема

калібрування. Найбільш відомими є ERDAS Imagine (США / Швейцарія), INPHO (США / Німеччина), PCI (Канада), PHOTOMOD (Росія).

Цей клас програмного забезпечення здебільшого орієнтований на оброблення даних аерофотознімання та космічного знімання. Хоча процедура калібрування передбачена в цих продуктах, проте орієнтовані вони на використання саме метричної знімальної апаратури. Важливим є той факт, що у вирішенні інженерних завдань співвідношення вартості програмного забезпечення до загальної вартості робіт є не на користь першого.

Друга група. Цю групу утворюють три типи програмних засобів, перші призначені для вирішення інженерних завдань в більшості випадків шляхом наземного знімання DigiCad 3D (Іспанія), PHIDIAS (Австрія), iWitness (Австралія), Australis (Австралія), PhotoScan Pro (Ізраїль), Elcovision (Німеччина), PhotoModeler (США). До цієї групи належить програмне забезпечення, розроблене для високоточних фотограмметричних вимірювальних комплексів, таких як V-STARS та AICON, а також програмне забезпечення фірм-виробників фототахеометрів, наприклад 3D Image Master фірми TOPCON. Порівняно з першою групою вартість таких програм є достатньо прийнятною. Орієнтовані вони насамперед на використання цифрових неметричних камер, отже, механізм калібрування в цих програмах є дуже розвиненим.

Третя група. Програмні продукти призначені тільки для калібрування. Ця група поділяється на три підгрупи.

1. Портативні програми, розроблені тільки для калібрування цифрових неметричних камер, типовими прикладами таких програм є Image Iron (Німеччина), XSIGNO Photogrammetry (Японія), GML Camera Calibration (Росія), Camera Calibration Tools (Великобританія) та ін.

2. Програми, розроблені окремо представниками фірм другої групи, наприклад CameraCalibrator (фірма Photometrix, розробник iWitness і Australis), Image Master Calib (фірма TOPCON), Agisoft Lens (фірма Agisoft, розробник PhotoScan Pro).

3. Програми власної розробки, дуже популярні завдяки безоплатному поширенню. Найчастіше такі програми, написані відомими мовами програмування, потребують певних знань користувача. Найбільшого поширення набули програми, написані мовою програмування Matlab, це такі відомі програми, як Faussal та Camera Calibration TOOLBOX. Особливо слід зауважити, що програми третьої групи максимально автоматизовані і калібрування в них складається з 4-5 простих операцій.

У нашій роботі виконано дослідження програм другої групи – Australis (Австралія) [15], PhotoModeler (США) [8] та 3D Image Master (Японія) і програм третьої групи – Agisoft Lens, Faussal та Camera Calibration TOOLBOX.

Як тестові для програм другої групи нами були обрані площинні зображення з п'ятьма опорними марками (рис. 1).

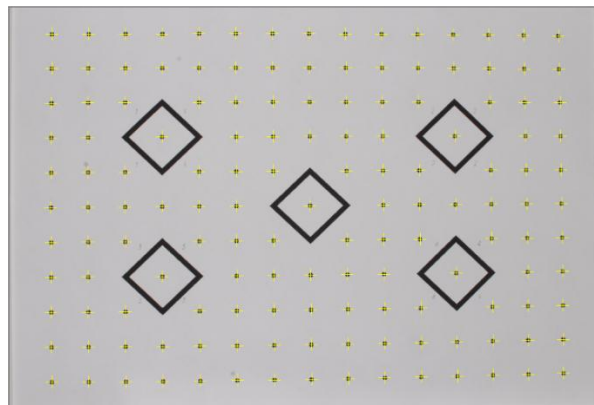


Рис. 1. Тестове зображення

Спочатку калібрування було виконане за допомогою програми 3D Image Master (Японія). Результати калібрування наведено на рис. 2.



Рис. 2. Параметри калібрування для камери Nikon D200 в програмі 3D Image Master

Розмір тестового зображення – 80x60 см. Кількість калібрувальних точок – 160. Фотографування тестового об’єкта виконано цифровою камерою Nikon D200 з фокусною відстанню 35 мм та розміром матриці 22,4 x 15,0 мм.

У програмі використано модель:

$$\Delta x = \bar{x}(k_1 r^2 + k_2 r^4) + p_1(r^2 + 2\bar{x}^2) + 2p_2 \bar{x}\bar{y};$$

$$\Delta y = \bar{y}(k_1 r^2 + k_2 r^4) + 2p_1 \bar{x}\bar{y} + p_2(r^2 + 2\bar{y}^2).$$

Параметри цієї моделі представлені на рис. 2.

Для вказаних вихідних даних виконаємо калібрування в програмі Australis [13]. Математична модель калібрування програми є такою:

$$\Delta x = \bar{x}(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + p_1(r^2 + 2\bar{x}^2) + 2p_2 \bar{x}\bar{y} + A\bar{y};$$

$$\Delta y = \bar{y}(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + 2p_1 \bar{x}\bar{y} + p_2(r^2 + 2\bar{y}^2) + B\bar{y}.$$

У такому разі програма дає змогу побудувати більш розширену модель калібрування. У дослідженні моделей калібрування розглянуто 16 комбінацій різних параметрів. Найбільш цікаві результати отримано для наступних моделей.

Повна модель з урахуванням всіх параметрів, а також результати калібрування наведено на рис. 3, а графіки радіальної та тангенціальної дисторсії – на рис. 4 та 5 відповідно.

METRIC CALIBRATION PARAMETERS

Resolution = 3872 x 2592 pixels

Pixel width = 0.0058mm, Pixel height = 0.0058mm

	VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c = 34.8877mm	0.002mm
Principal point offset in x-image coordinate	x _p = -0.1045mm	0.010mm
Principal point offset in y-image coordinate	y _p = -0.2494mm	0.020mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 1.07626e-004	8.9371e-007
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -6.40778e-008	1.1867e-008
7th-order term of radial distortion correction	K3 = -5.33013e-011	4.9939e-011
Coefficient of decentering distortion	P1 = -1.3245e-005	3.263e-006
Coefficient of decentering distortion	P2 = -4.5675e-006	1.416e-006
No significant differential scaling present	B1 = 0.0000e+000	8.261e-011
No significant non-orthogonality present	B2 = 0.0000e+000	8.261e-011

Рис. 3. Результати повного калібрування камери Nikon D200 в програмі Australis

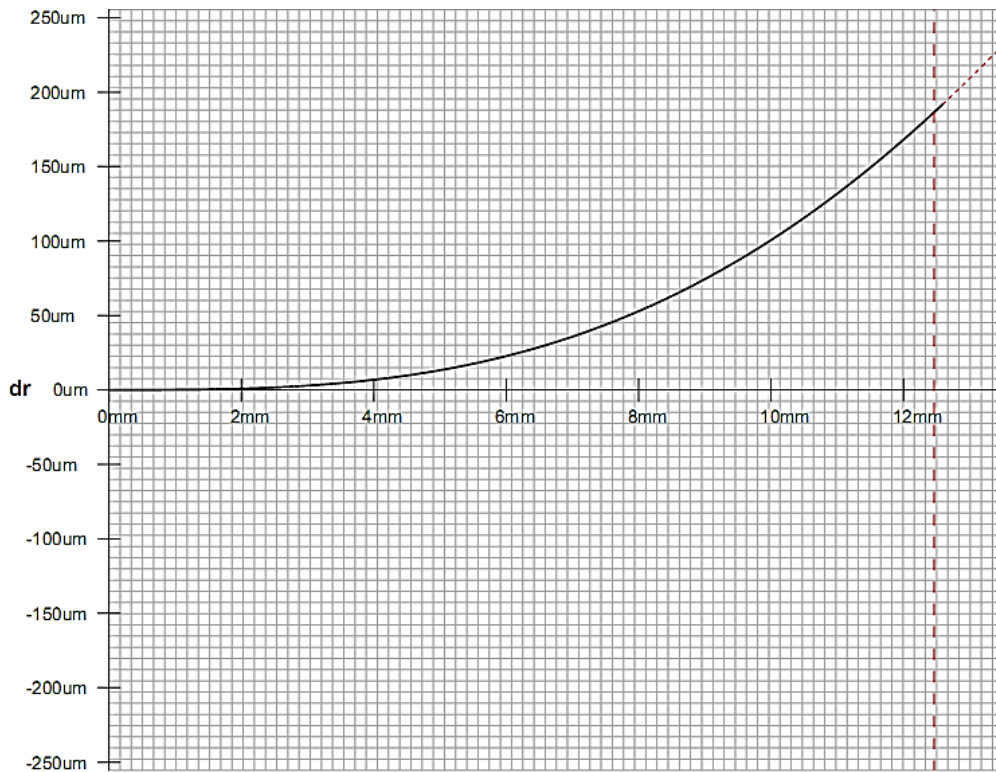


Рис. 4. Графік радіальної дисторсії після калібрування в Australis

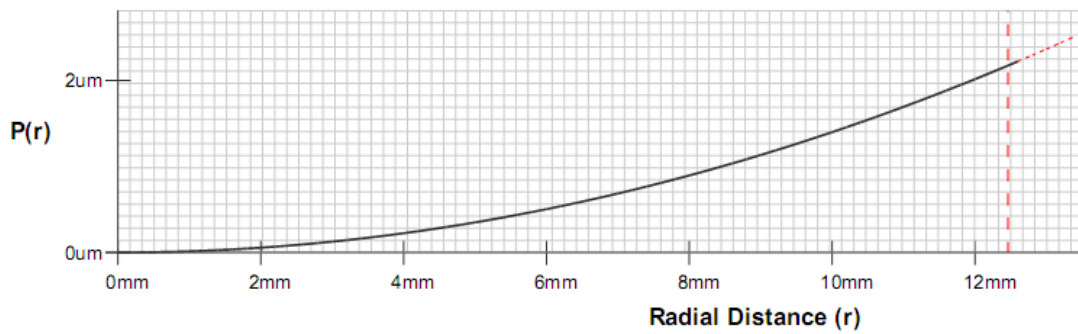


Рис. 5. Графік тангенціальної дисторсії після калібрування в Australis

Результати та графіки свідчать про те, що є певна розбіжність між параметрами внутрішнього орієнтування і коефіцієнтами дисторсії та результатами Australis і 3D Image Master. При цьому в програмі Australis наведено не тільки визначені параметри, а й оцінку точності їх визначення. За цими оцінками можна дійти висновку щодо надійності визначення фокусної відстані та перших двох коефіцієнтів дисторсії.

Виконаємо визначення елементів внутрішнього орієнтування та параметрів дисторсії без тангенціальної складової. Результати калібрування наведено на рис. 6.

	VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c = 34.9057mm	0.002mm
Principal point offset in x-image coordinate	x _p = -0.0979mm	0.003mm
Principal point offset in y-image coordinate	y _p = -0.2674mm	0.020mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 1.08164e-004	9.1683e-007
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -6.60624e-008	1.2251e-008
7th-order term of radial distortion correction	K3 = -5.75835e-011	5.1794e-011
Coefficient of decentering distortion	P1 = 0.0000e+000	8.502e-011
Coefficient of decentering distortion	P2 = 0.0000e+000	8.502e-011

Рис. 6. Результати повного калібрування камери Nikon D200 в програмі Australis без тангенціальної дисторсії

Результати свідчать, що точність визначення параметрів практично не погіршилась. Ненадійно, як і раніше, визначається третій коефіцієнт радіальної дисторсії.

Наостанок виконаємо визначення тільки двох коефіцієнтів радіальної дисторсії (рис. 7).

METRIC CALIBRATION PARAMETERS

Resolution = 3872 x 2592 pixels
 Pixel width = 0.0058mm, Pixel height = 0.0058mm

	VALUE	STANDARD ERROR
Principal distance	c = 34.9057mm	0.002mm
Principal point offset in x-image coordinate	x _p = -0.0979mm	0.003mm
Principal point offset in y-image coordinate	y _p = -0.2674mm	0.020mm
3rd-order term of radial distortion correction	K1 = 1.08164e-004	4.2981e-007
5th-order term of radial distortion correction	K2 = -6.60624e-008	2.5999e-009

Рис. 7. Результати повного калібрування камери Nikon D200 в програмі Australis з двома коефіцієнтами радіальної дисторсії

Отримана точність визначення дисторсії за спрощеною моделлю є цілком достатньою.

Для останнього порівняння виконаємо калібрування тієї ж камери в програмі PhotoModeler.

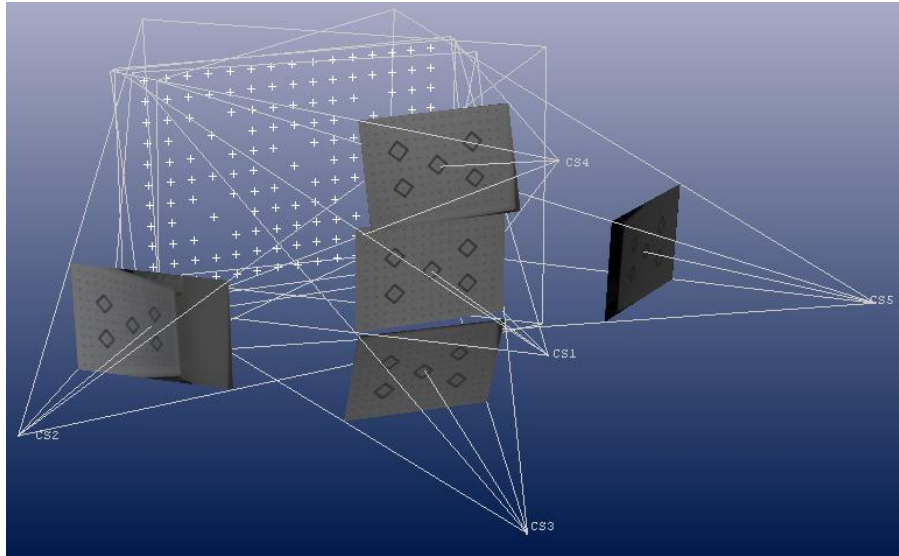


Рис. 8. Тривимірні зображення калібрувального стенду в програмі PhotoModeler

Як і раніше, спочатку виконаємо калібрування для повної моделі.

Camera Calibration Standard Deviations

Camera1: Nikon D200

Focal Length Value: 34.831836 mm Deviation: Focal: 0.002 mm

Xp - principal point x Value: 11.115493 mm Deviation: Xp: 0.004 mm

Yp - principal point y Value: 7.740705 mm Deviation: Yp: 0.008 mm

Fw - format width Value: 22.417610 mm Deviation: Fw: 0.001 mm

Fh - format height Value: 15.000000 mm

K1 - radial distortion 1 Value: 1.090e-004 Deviation: K1: 3.8e-007

K2 - radial distortion 2 Value: -7.760e-008 Deviation: K2: 5.0e-009

Correlations over 95.0%: K3:-97.5%

K3 - radial distortion 3 Value: -2.873e-011 Deviation: K3: 2.1e-011

Correlations over 95.0%: K2:-97.5%

P1 - decentering distortion 1 Value: -1.824e-005 Deviation: P1: 1.0e-006

P2 - decentering distortion 2 Value: -4.980e-006 Deviation: P2: 8.6e-007

Отримані результати дозволяють зробити важливі висновки. Ця програма має ряд переваг: можливість оцінити формат кадру фотокамери, наводяться значення коефіцієнтів кореляції між параметрами, точність оцінювання параметрів є вищою порівнянно з іншими програмами.

Виконаємо оцінку параметрів дисторсії за спрощеною моделлю.

Camera Calibration Standard Deviations

Focal Length Value: 34.831836 mm Deviation: Focal: 0.002 mm

Xp - principal point x Value: 11.115493 mm Deviation: Xp: 0.002 mm

Yp - principal point y Value: 7.740705 mm Deviation: Yp: 0.005 mm

Fw - format width Value: 22.417610 mm Deviation: Fw: 0.001 mm

Fh - format height Value: 15.000000 mm

K1 - radial distortion 1 Value: 1.090e-004 Deviation: K1: 1.8e-007

K2 - radial distortion 2 Value: -7.760e-008 Deviation: K2: 1.1e-009

Вказані раніше переваги стосуються також спрощеної моделі калібрування.

Для формулювання остаточних висновків виконаємо калібрування знімків з використанням програм власного розроблення, популярних завдяки безкоштовному поширенню: Agisoft Lens, Faussal та Camera Calibration TOOLBOX.

Для калібрування використано тестові зображення, отримані камерою Canon PowerShot SX100 IS 3264x2448 з фокусними відстанями 6 і 7 мм.

Результати калібрування камери Canon PowerShot SX100 IS з фокусною відстанню 6 мм в програмі Agisoft Lens представлено на рис. 9, графік радіальної дисторсії – на рис. 10, тангенціальної дисторсії – на рис. 11.

Параметр	Значение	Погрешность
Image width	3264	
Image height	2448	
Focal length (x)	3432.54	2.96838
Focal length (y)	3432.45	2.94171
Principal point (x)	1603.62	1.47161
Principal point (y)	1239.75	1.22747
Skew	0	0
Radial K1	-0.227966	0.00151543
Radial K2	0.249547	0.00419263
Radial K3	0	0
Tangential P1	0.000284942	8.58056e-05
Tangential P2	-0.00101089	0.000101463

Рис. 9. Результати калібрування в програмі Agisoft Lens

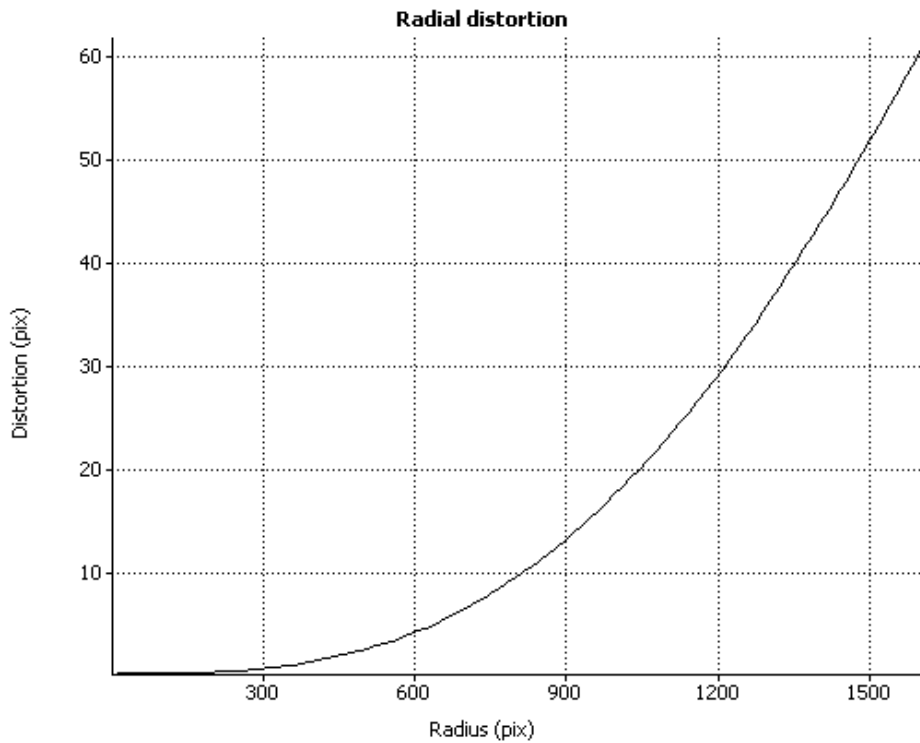


Рис. 10. Графік радіальної дисторсії в програмі Agisoft Lens

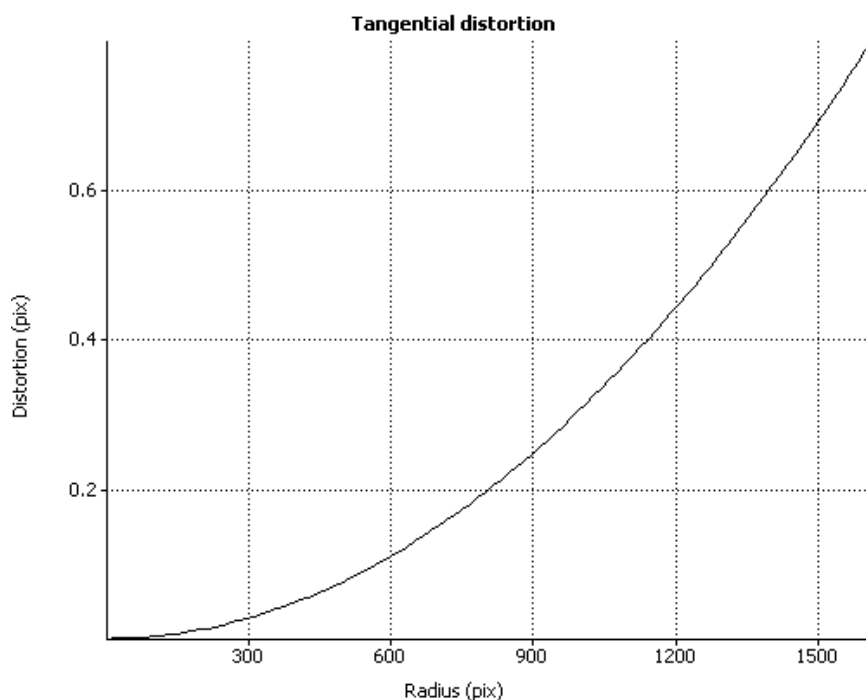


Рис. 11. Графік тангенціальної дисторсії в програмі Agisoft Lens

Відмітимо одразу особливість калібрування в цих програмах: вимірювання виконується тільки автоматично, а всі результати представлено у піксельному форматі. Якість калібрування, визначена в міліметрах, є досить невисокою, це пояснюється не недосконалістю моделі калібрування, а неякісним алгоритмом розпізнавання тестового об'єкта.

Виконаємо калібрування за спрощеною моделлю. Результати представлено на рис. 12.

Параметр	Значення	Погрешність
Image width	3264	
Image height	2448	
Focal length (x)	3429.97	2.93882
Focal length (y)	3429.97	2.91424
Principal point (x)	1613.46	1.07902
Principal point (y)	1238.52	1.15885
Skew	0	0
Radial K1	-0.227663	0.0015215
Radial K2	0.248776	0.00421311

Рис. 12. Результати калібрування в програмі Agisoft Lens радіальної дисторсії

Як і в попередньому випадку, точність визначення фокусної відстані є гіршою. Краще визначається оцінка головної точки знімка. Слід звернути увагу на те, що немає оцінки перекосу пікселів (skew).

Тепер виконаємо калібрування камери за фокусної відстані 7 мм (рис. 13-16).

Параметр	Значение	Погрешность
Image width	3264	
Image height	2448	
Focal length (x)	4172.19	3.06261
Focal length (y)	4172.69	3.19509
Principal point (x)	1591.53	2.17326
Principal point (y)	1224.22	1.71917
Skew	0	0
Radial K1	-0.204202	0.00221807
Radial K2	0.305151	0.00913421
Radial K3	0	0
Tangential P1	-0.00106532	0.000106987
Tangential P2	-0.00146706	0.000128395

Рис. 13. Результати калібрування в програмі Agisoft Lens

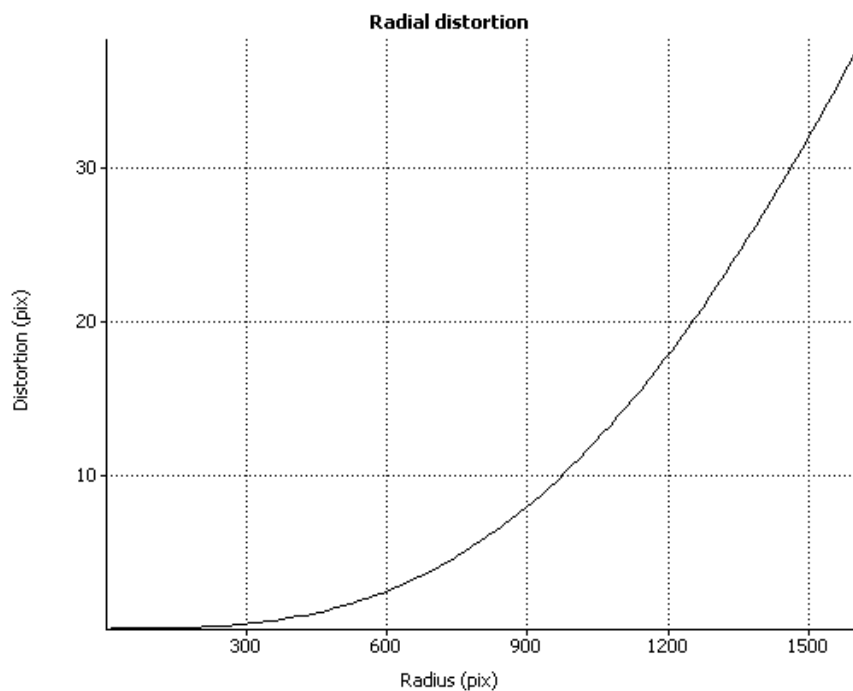


Рис. 14. Графік радіальної дисторсії в програмі Agisoft Lens

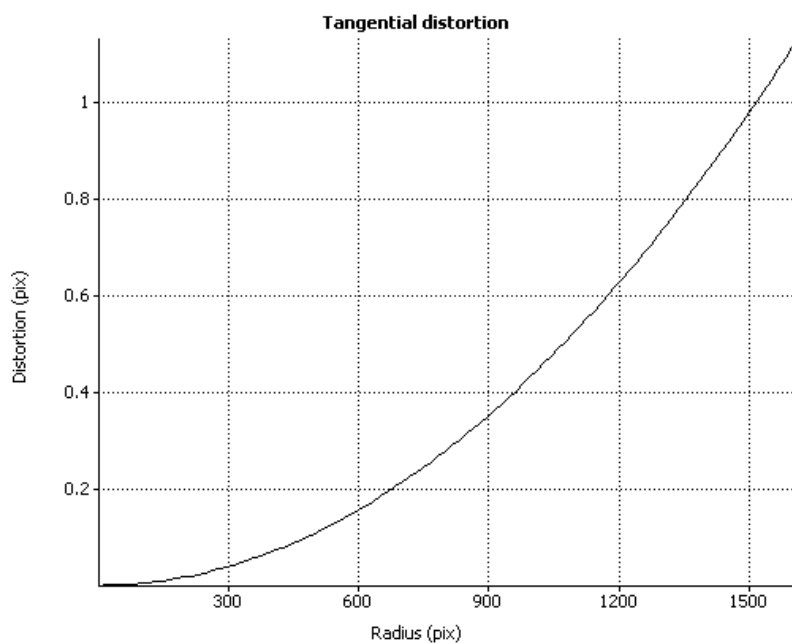


Рис. 15. Графік тангенціальної дисторсії в програмі Agisoft Lens

Параметр	Значення	Погрешність
Image width	3264	
Image height	2448	
Focal length (x)	4168.87	3.04218
Focal length (y)	4169.38	3.17533
Principal point (x)	1611.93	1.24749
Principal point (y)	1233.97	1.44256
Skew	0	0
Radial K1	-0.204545	0.00226016
Radial K2	0.306681	0.00935854

Рис. 16. Результати калібрування в програмі Agisoft Lens радіальної дисторсії

Програма Agisoft Lens є дуже зручною у користуванні, однак її точність в деяких випадках викликає певні сумніви.

Остання підгрупа програм, про які велася мова, – це програми, написані мовою програмування Matlab окремими програмістами. Спочатку виконаємо тестування відомої програми Camera Calibration TOOLBOX, що з'явилась понад 10 років тому (рис. 17) [1].

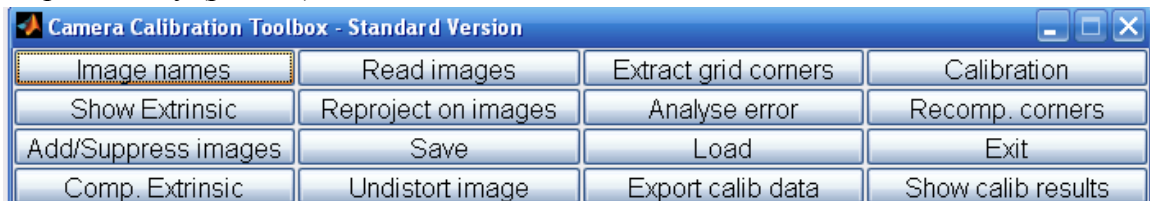


Рис. 17. Графічне меню програми Camera Calibration TOOLBOX

У програмі використано поліноміальну модель незбалансованої радіальної дисторсії, яка може бути перетворена у модель, досліджену в попередніх програмах до збалансованої радіальної дисторсії. Ці математичні моделі еквівалентні, з математичного погляду збалансована модель видається більш «елегантною» і справляє враження меншого впливу дисторсії.

Незбалансована радіальна дисторсія: $\Delta r = K_1 r^3 + K_2 r^5$.

Збалансована радіальна дисторсія: $\Delta r = A_1 r (r^2 - r_0^2) + A_2 r (r^4 - r_0^4) = (-A_1 r_0^2 - A_2 r_0^4) r + A_1 r^3 + A_2 r^5$,

де: $A_1 = K_1(1 - K_0)$, $A_2 = K_2(1 - K_0)$, $K_0 = -A_1 r_0^2 - A_2 r_0^4$.

Для перетворення незбалансованої дисторсії в збалансовану:

$c_k = c (1 - K_0)$, $A_1 = K_1 (1 - K_0)$, $A_2 = K_2 (1 - K_0)$,

зворотнє перетворення:

$c = c_k / (1 - K_0)$, $K_1 = A_1 / (1 - K_0)$, $K_2 = A_2 / (1 - K_0)$.

Після калібрування були отримані такі результати:

Focal Length: $fc = [3465.44211 \ 3465.26109] \pm [30.27195 \ 29.91719]$;

Principal point: $cc = [1601.60104 \ 1257.90839] \pm [19.24849 \ 15.93666]$;

Skew: $\alpha_c = [0.00000] \pm [0.00000] \Rightarrow$ angle of pixel axes = 90.00000 ± 0.00000 degrees;

Distortion: $kc = [-0.01184 \ 0.06432 \ -0.00129 \ 0.00193 \ 0.00000] \pm [0.02660 \ 0.13784 \ 0.00168 \ 0.00203 \ 0.00000]$;

Pixel error: $err = [1.83901 \ 1.88648]$.

Як бачимо, точність калібрування є досить посередньою. Особливість цієї програми полягає у дуже доброму графічному інтерфейсі для аналізу результатів калібрування.

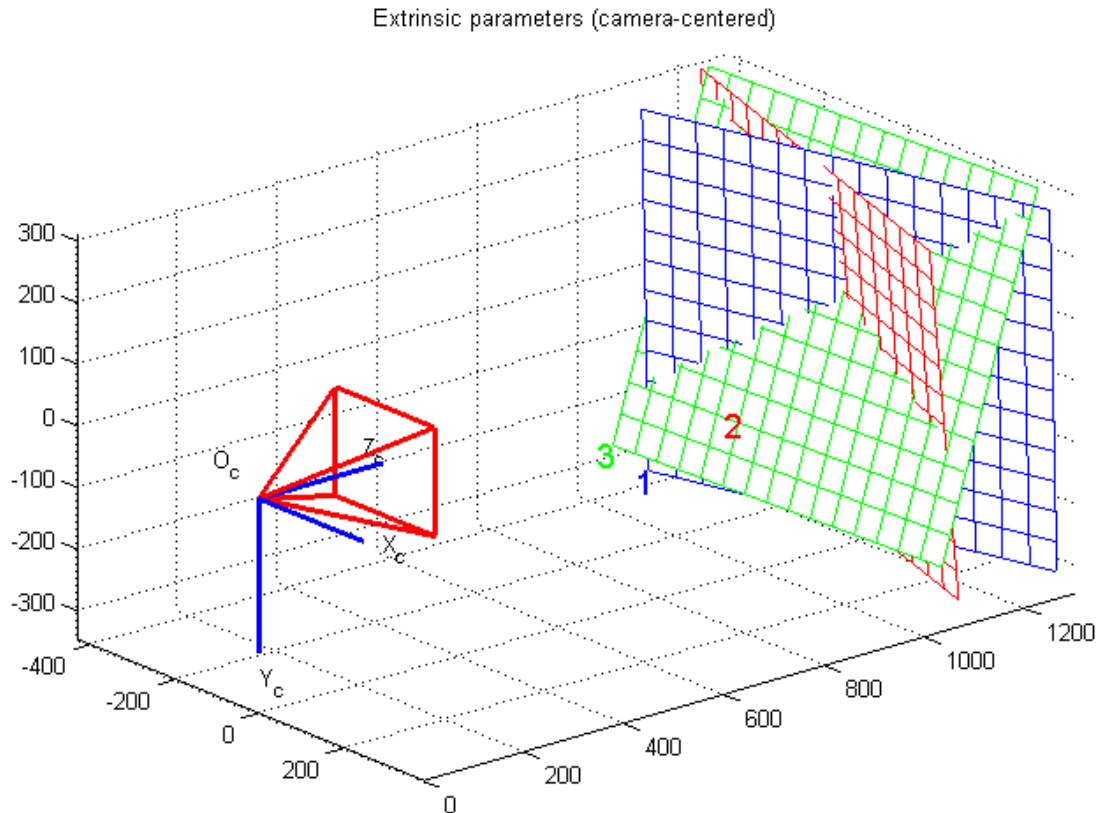


Рис. 18. Тривимірне зображення суміщених площин тестового зображення

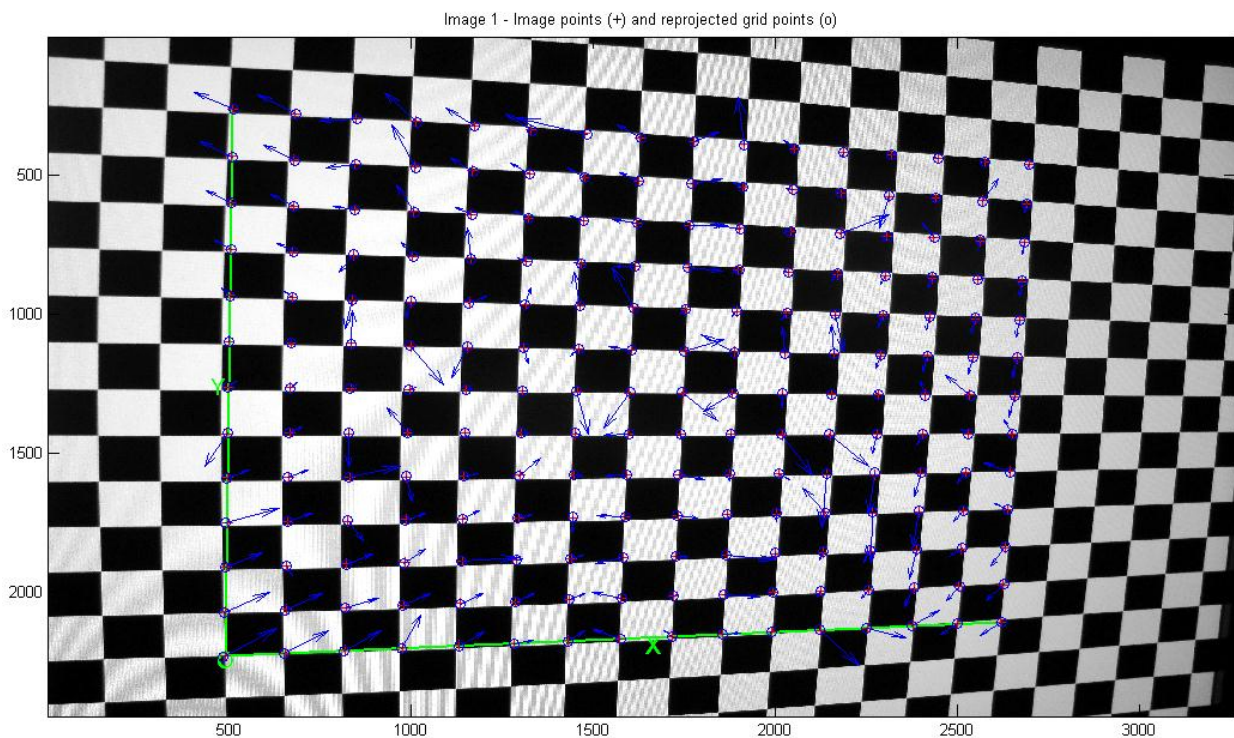


Рис. 19. Тестове зображення з векторами переміщень, викликаними впливом дисторсії (знімок 1)

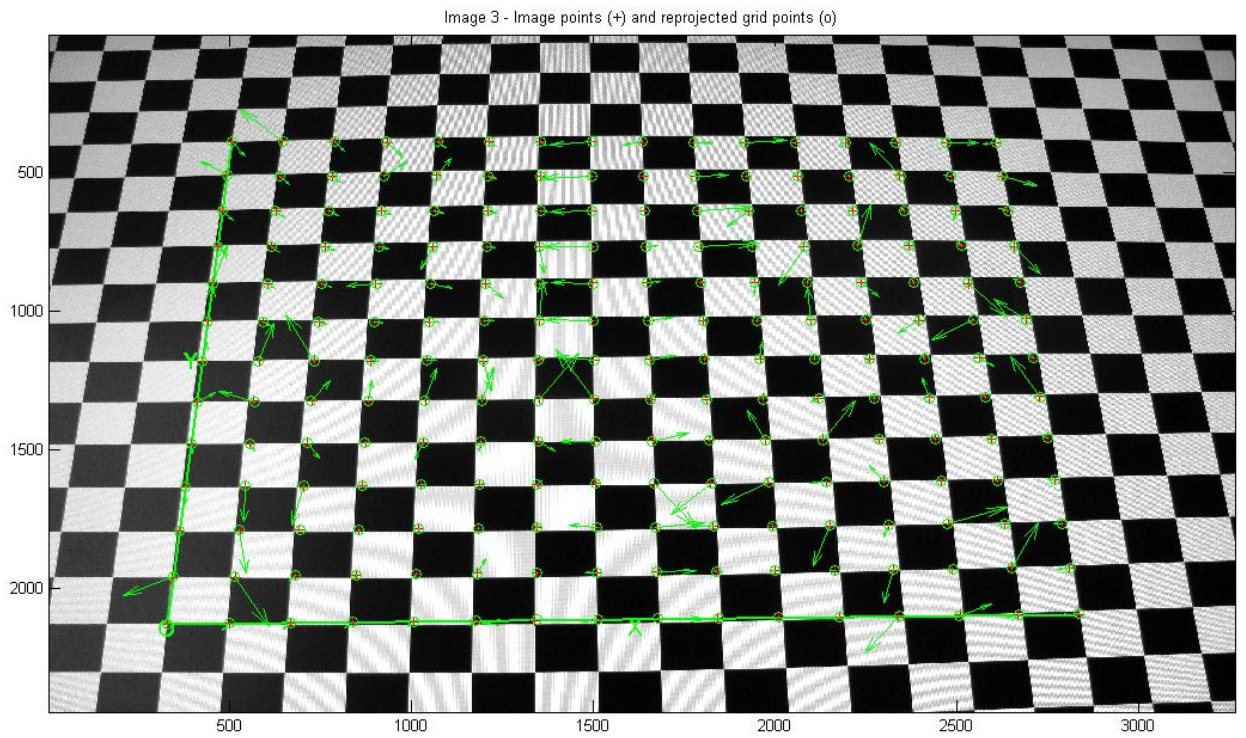


Рис. 20. Тестове зображення з векторами переміщень, викликаними впливом дисторсії (знімок 2)

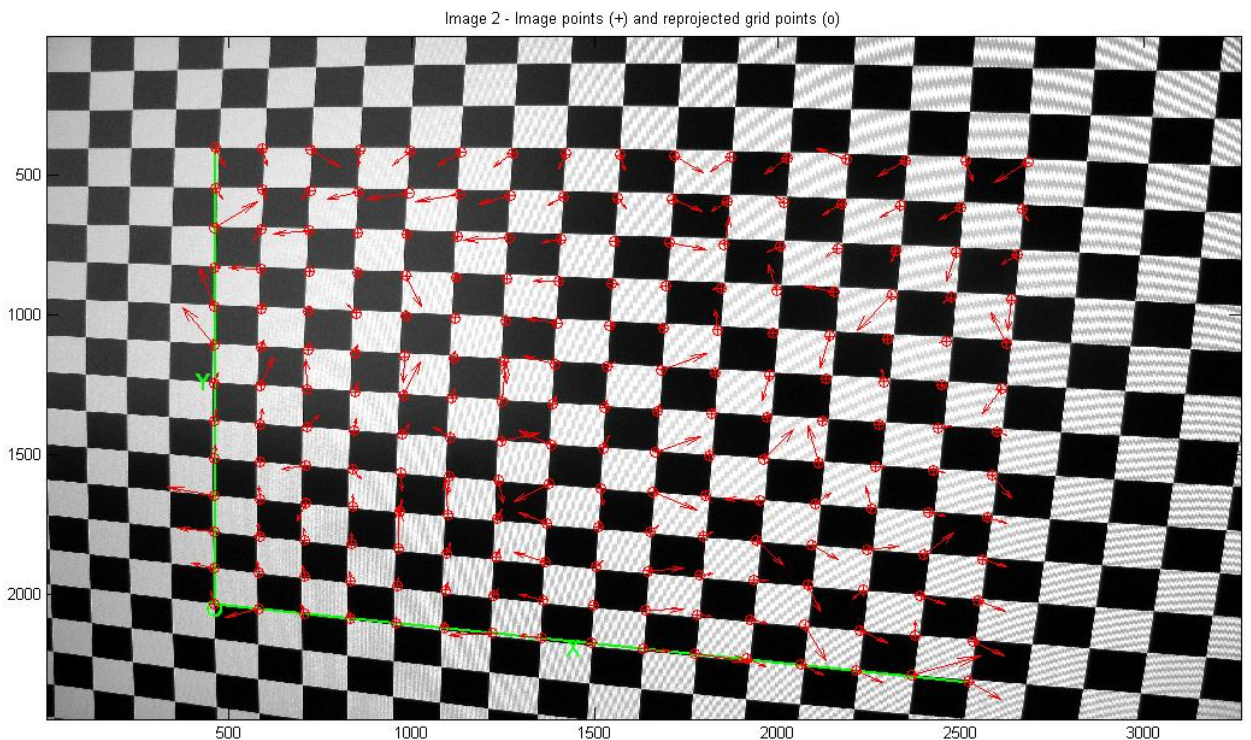


Рис. 21. Тестове зображення з векторами переміщень, викликаними впливом дисторсії (знімок 3)

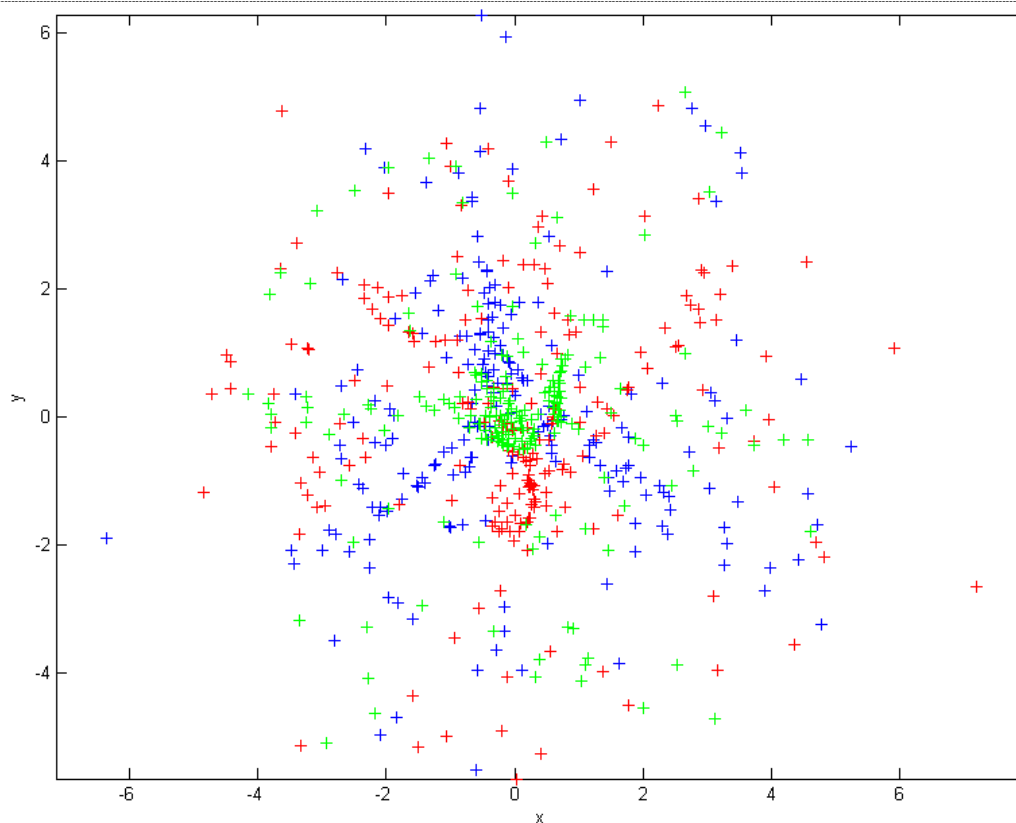


Рис. 22. Графік розподілу поправок після калібрування

Під час калібрування зображення з фокусом 7,3 мм ітераційний процес не зійшовся, що свідчить про нестабільність в алгоритмі роботи програми.

Остання з протестованих програм Faucsal для Matlab з'явилася порівняно недавно [2-4; 6; 9; 11].

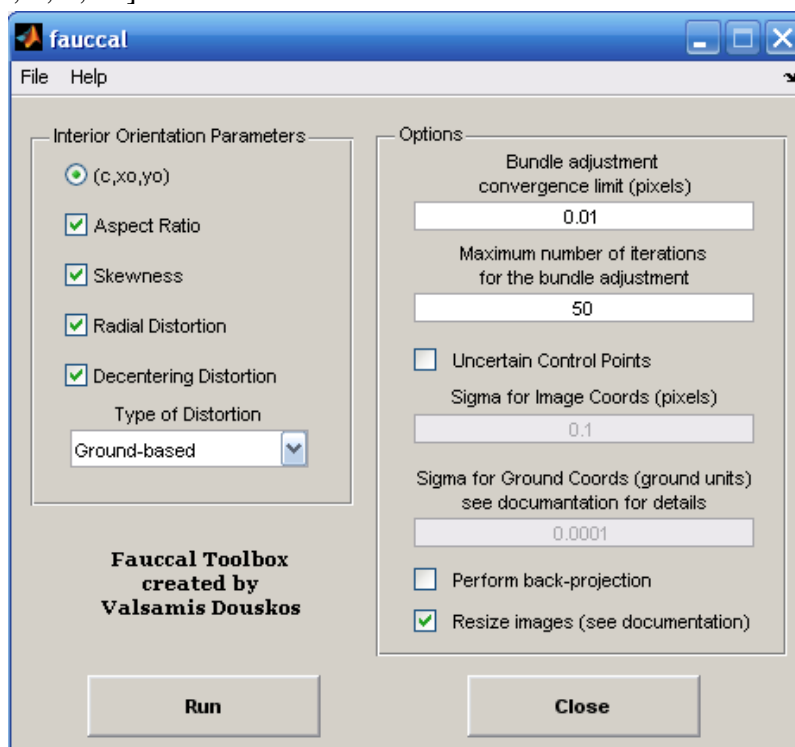


Рис. 23. Робоче меню програми Faucsal для Matlab

Ця програма також повністю автоматично розпізнає тестове зображення на знімку. В програмі є можливість вибору повної або часткової моделі калібрування. Важливим з геодезичного погляду є можливість вказати точність нанесення тестового об'єкта, тобто визначення параметрів калібрування в програмі Faussal для Matlab виконується з врахуванням похибок вихідних даних. Без коментарів наведемо результати калібрування для повної та часткової моделі калібрування для зображень з фокусом 6 і 7,3 мм (рис. 24-31).

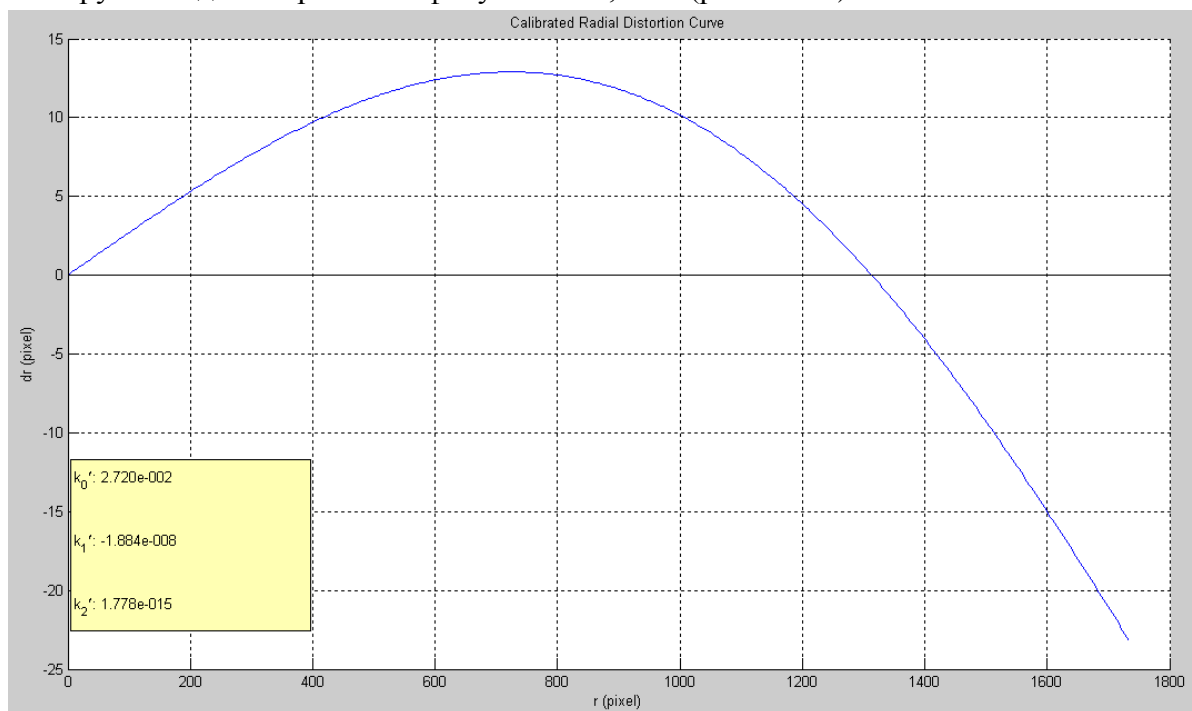


Рис. 24. Графік дисторсії об'єктива для повної моделі калібрування зображення з фокусом 6 мм

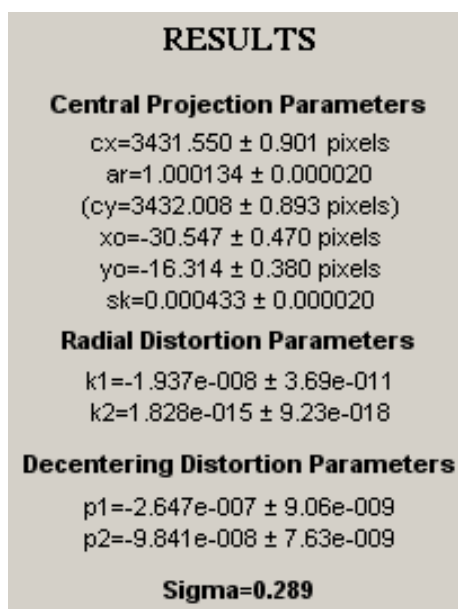


Рис. 25. Результати калібрування дисторсії об'єктива для повної моделі калібрування зображення з фокусом 6 мм

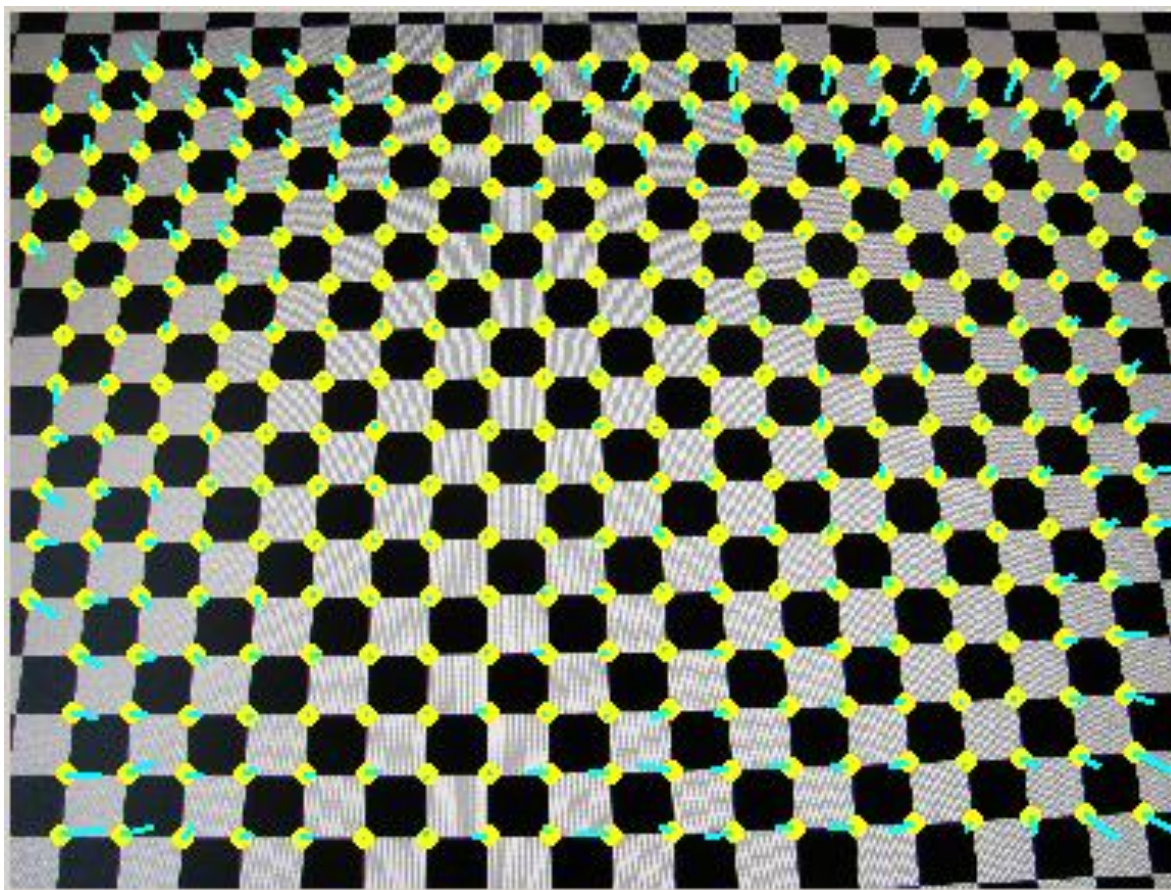


Рис. 26. Тестове зображення з векторами переміщень, зумовлених впливом дисторсії (знімок 3)

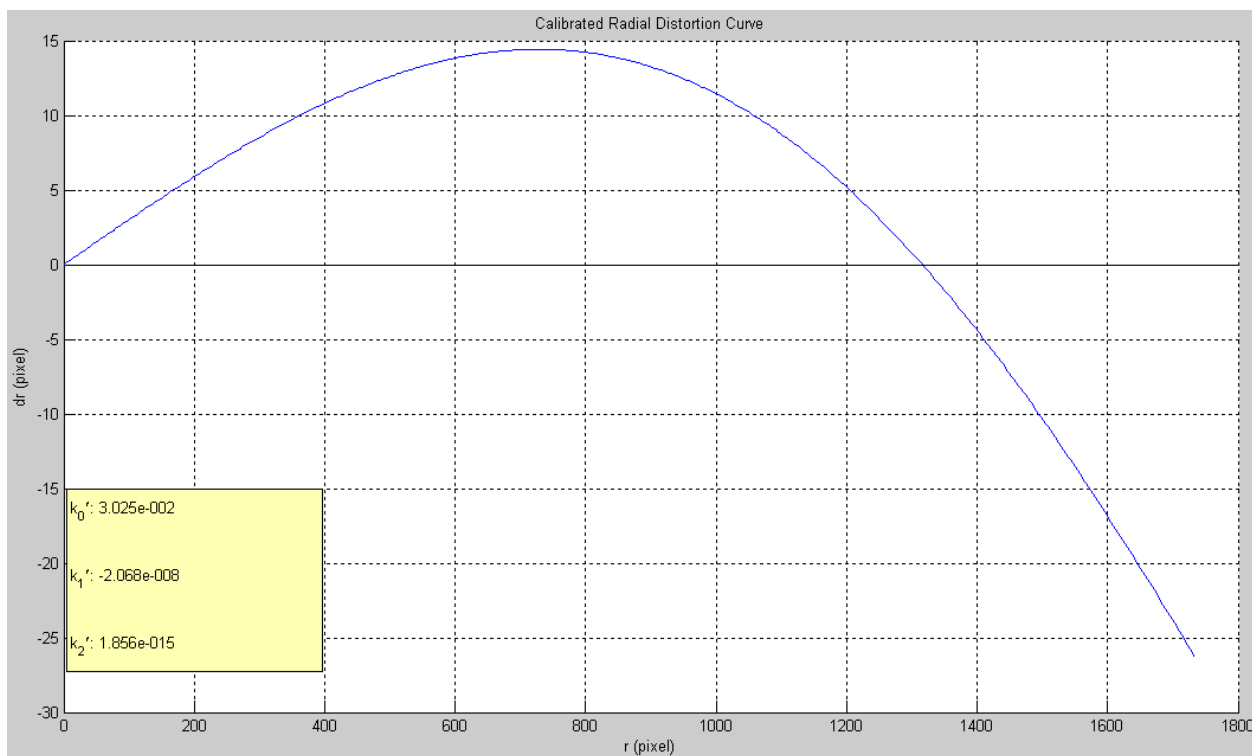


Рис. 27. Графік дисторсії об'єктива для часткової моделі калібрування зображення з фокусом 6 мм

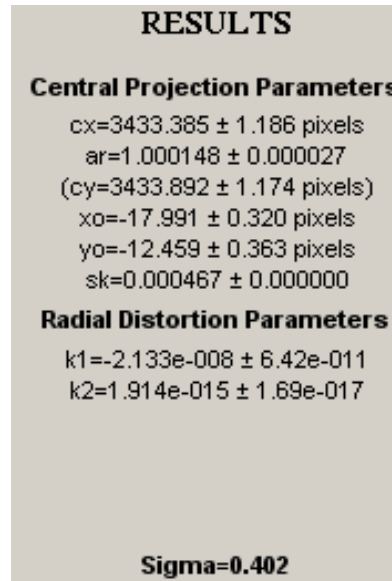


Рис. 28. Результати калібрування дисторсії об'єктива для часткової моделі калібрування зображення з фокусом 6 мм

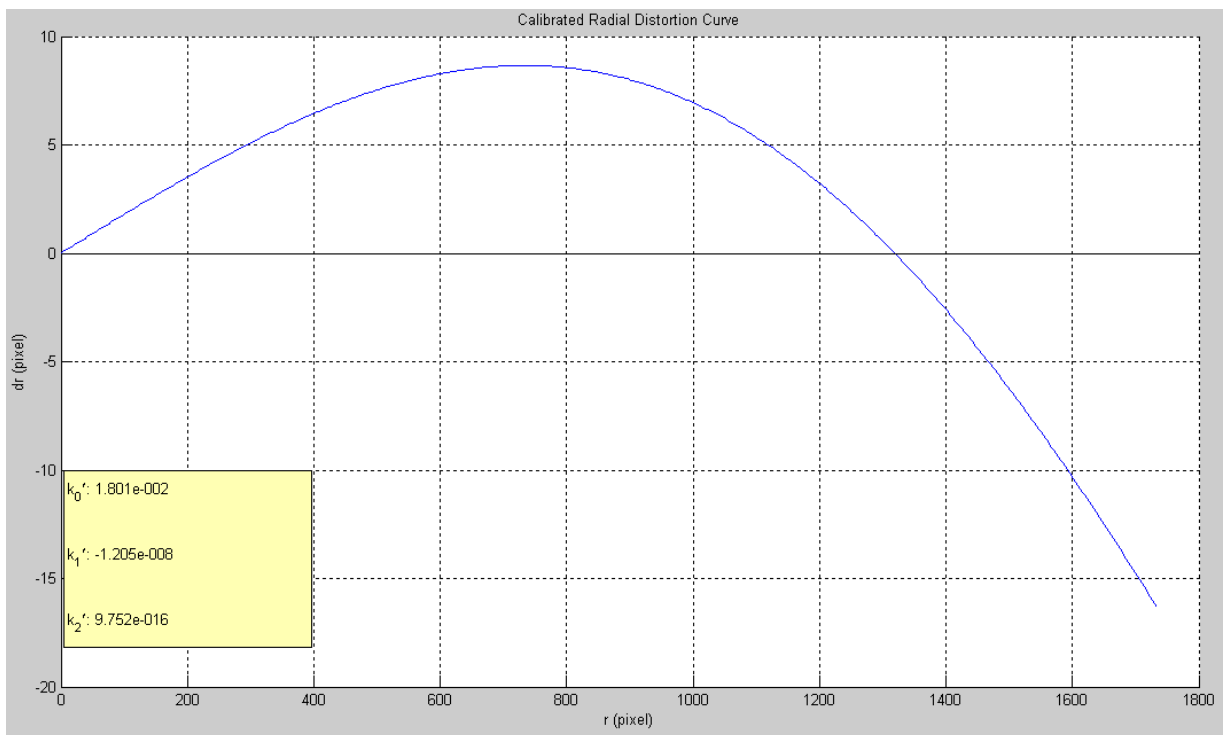


Рис. 29. Графік дисторсії об'єктива для повної моделі калібрування зображення з фокусом 7,3 мм

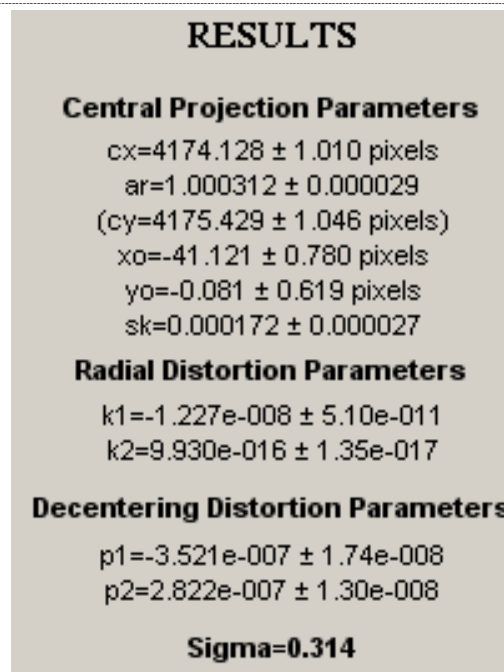


Рис. 30. Результати калібрування дисторсії об'єктива для повної моделі калібрування зображення з фокусом 7,3 мм

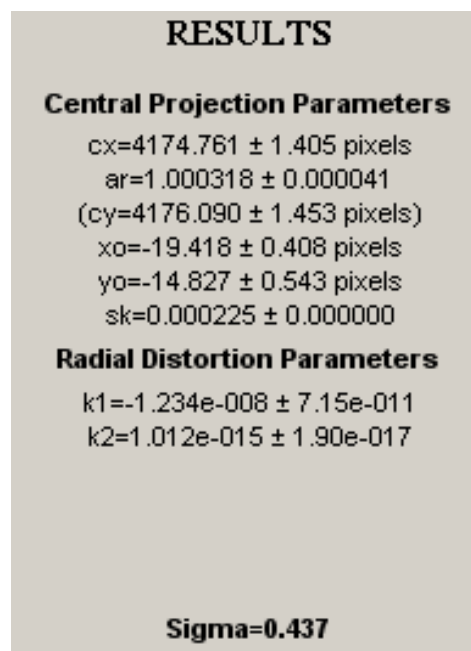


Рис. 31. Результати калібрування дисторсії об'єктива для повної моделі калібрування зображення з фокусом 7,3 мм

Таким чином, програма Faussal для Matlab серед інших програм цього класу забезпечує найкращу точність та якість калібрування.

Загалом варто відмітити, що у калібруванні слід віддавати перевагу програмам типу PhotoModeler, а за фінансових обмежень – програмам типу Faussal для Matlab.

Висновок. Сучасна інженерна фотограмметрія є багатогранною науково-прикладною дисципліною. Впровадження цифрових технологій дало можливість значно розширити сфери застосування інженерної фотограмметрії. В роботі

систематизовано та проаналізовано підходи до калібрування цифрових неметричних камер та на підставі результатів аналізу скласти класифікації методів та методик калібрування, що може бути використане для вибору моделей калібрування камер з різною дисторсією. Виконано аналіз та дослідження програмного забезпечення для калібрування цифрових неметричних камер. Всі програмні засоби поділено на три групи з окремими підгрупами. Виявлено, що для завдань інженерної цифрової фотограмметрії доцільно використовувати програми другої або третьої групи, при цьому в результаті дослідження виокремлено програми, які дають змогу надійно, з потрібною точністю визначати елементи внутрішнього орієнтування та параметри дисторсії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Bouguet, J.-Y.* Camera Calibration Toolbox for Matlab: http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/
2. *Douskos, V., Grammatikopoulos, L., Kalisperakis, I., Karras, G., Petsa, E.* FAUCCAL: An Open Source Toolbox for Fully Automatic Camera Calibration // XXII CIPA Symposium on Digital Documentation, Interpretation & Presentation of Cultural Heritage, October 11-15, 2009, Kyoto.
3. *Douskos, V., Kalisperakis, I., Karras, G.* Automatic calibration of digital cameras using planar chess-board patterns // Optical 3-D Measurement Techniques VIII, Wichman, vol. 1, 2007, pp.132-140.
4. *Douskos, V., Kalisperakis, I., Karras, G., Petsa, E.* Fully automatic camera calibration using regular planar patterns // International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and the Spatial Information Sciences, vol. 37(5), 2008, pp. 21-26
5. *El-Sheimy, N.* The Development of VISAT – A Mobile Survey System for GIS Applications [Text]: A Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy / N. El-Sheimy. – Calgary, 1996. - 198 p.
6. *FAUCCAL* (2009):<http://portal.survey.ntua.gr/main/labs/photo/staff/gkarras/fauccal.html>
7. *Goudard, R., C., Lasseur, Mergelkuhl, D.* Digital Photogrammetry Applied to Large Physics Detectors. FIG Working Week, Paris, France, April 13-17, 2003, 13 p. https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig_2003/TS_22/TS22_4_Goudard_et_al.pdf
8. *Gruen, A., Akca, D.* Metric Accuracy Testing with Mobile Phone Cameras // ISPRS Archives – Volume XXXVII Part B5, 2008 XXIst ISPRS Congress Technical Commission V July 3-11, 2008 Beijing, China, pp. 729-736.
9. *Kalisperakis, I., Grammatikopoulos, L., Petsa, E., Karras, G.* An open-source educational software for basic photogrammetric tasks // Proceedings of the FIG-ISPRS-ICA International Symposium on Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields, Sofia, 09 – 10 November, 2006, pp. 581-586.
10. *Pappa, R.S., Giersch, L.R., Quagliaroli, J.M.* Photogrammetry of a 5m Inflatable Space Antenna With Consumer Digital Cameras. 2000. 11 p. <http://www.photomodeler.com/applications/documents/NASA.pdf>
11. *Prokos, A., Kalisperakis, I., Petsa, E., Karras, G.* Automatic calibration of stereo-cameras using ordinary chess-board patterns // International Archives of the

Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXVIII, Part 5, 2012, pp. 45-49.

12. *Pullivelli, A.* Low-Cost Digital Cameras: Calibration, Stability Analysis and Applications [Text]: A Thesis for the Degree of Master of Science / A. Pullivelli. – Calgary, 2005. – 170 p.

13. *Camera Calibrator User Manual* Photometrix Pty Ltd, Australia, Version 2.0, May 2016
http://www.photometrix.com.au/downloads/calibrator/CameraCalibrator_V2_User_Manual.pdf

14. *Walford, A.* One Part in 300,000. Precision and Accuracy Discussion. Eos Systems Inc. <https://www.photodeler.com/applications/documents/Precision.pdf>

15. *Гельман Р.Н., Дуниц А.Л.* Лабораторная калибровка цифровых камер с большой дисторсией // Геодезия и картография. 2002. №7. С. 23-31.

16. *Юрченко В.И.* Исследование моделей учета систематических искажений неметрических снимков с самокалибровкой // Геодезия и картография. 2002. №8. С. 32-37.

REFERENCES

1. *Bouguet, J.-Y.* Camera Calibration Toolbox for Matlab: http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/

2. *Douskos, V., Grammatikopoulos, L., Kalisperakis, I., Karras, G., Petsa, E.* FAUCCAL: An Open Source Toolbox for Fully Automatic Camera Calibration // XXII CIPA Symposium on Digital Documentation, Interpretation & Presentation of Cultural Heritage, October 11-15, 2009, Kyoto.

3. *Douskos, V., Kalisperakis, I., Karras, G.* Automatic calibration of digital cameras using planar chess-board patterns // Optical 3-D Measurement Techniques VIII, Wichman, vol. 1, 2007, pp.132-140.

4. *Douskos, V., Kalisperakis, I., Karras, G., Petsa, E.* (2008) Fully automatic camera calibration using regular planar patterns // International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and the Spatial Information Sciences, vol. 37(5), pp. 21-26

5. *El-Sheimy, N.* (1996) The Development of VISAT – A Mobile Survey System for GIS Applications [The Development of VISAT – A Mobile Survey System for GIS Applications]. Calgary, 198.

6. *FAUCCAL* (2009):
<http://portal.survey.ntua.gr/main/labs/photo/staff/gkarras/fauccal.html>

7. *Goudard, R., C., Lasseur, Mergelkuhl, D.* Digital Photogrammetry Applied to Large Physics Detectors. FIG Working Week, Paris, France, April 13-17, 2003, 13 p. https://www.fig.net/resources/proceedings/fig_proceedings/fig_2003/TS_22/TS22_4_Goudard_et_al.pdf

8. *Gruen, A., Akca, D.* Metric Accuracy Testing with Mobile Phone Cameras // ISPRS Archives – Volume XXXVII Part B5, 2008 XXIst ISPRS Congress Technical Commission V July 3-11, 2008 Beijing, China, pp. 729-736.

9. *Kalisperakis, I., Grammatikopoulos, L., Petsa, E., Karras, G.* An open-source educational software for basic photogrammetric tasks // Proceedings of the FIG-ISPRS-ICA

International Symposium on Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields, Sofia, 09 – 10 November, 2006, pp. 581-586.

10. Pappa, R.S., Giersch, L.R., Quagliaroli, J.M. Photogrammetry of a 5m Inflatable Space Antenna With Consumer Digital Cameras. 2000. 11 p. <http://www.photodeler.com/applications/documents/NASA.pdf>

11. Prokos, A., Kalisperakis, I., Petsa, E., Karras, G. Automatic calibration of stereo-cameras using ordinary chess-board patterns // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XXXVIII, Part 5, 2012, pp. 45-49.

12. Pullivelli, A. (2005) Low-Cost Digital Cameras: Calibration, Stability Analysis and Applications [Low-Cost Digital Cameras: Calibration, Stability Analysis and Applications]. Calgary, 170.

13. Camera Calibrator User Manual Photometrix Pty Ltd, Australia, Version 2.0, May 2016 http://www.photometrix.com.au/downloads/calibrator/CameraCalibrator_V2_User_Manual.pdf

14. Walford, A. One Part in 300,000. Precision and Accuracy Discussion. Eos Systems Inc. <https://www.photodeler.com/applications/documents/Precision.pdf>

15. Gel'man, R.N., Dunc, A.L. (2002) *Laboratornaja kalibrovka cifrovyh kamer s bol'shoj distorsiej* [Laboratory calibration of digital cameras with a large distortion]. Geodezija i kartografija [Geodesy and Cartography]. №7, pp. 23-31.

16. Jurchenko, V.I. (2002) *Issledovanie modelej ucheta sistematičeskikh iskazhenij nemetričeskikh snimkov s samokalibrovkoj* [The study models accounting systematic distortion non-metric images with the self-calibration]. Geodezija i kartografija [Geodesy and Cartography]. №8, pp. 32-37.

О.М. Гончерюк

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ И МОДЕЛЕЙ ДЛЯ
АВТОМАТИЧЕСКОЙ КАЛИБРОВКИ ЦИФРОВЫХ НЕМЕТРИЧЕСКИХ
КАМЕР ПО ПЛОСКОСТНЫМ ТЕСТОВЫМ ОБЪЕКТАМ**

В работе выполнен детальный анализ и практические экспериментальные исследования программных средств для калибровки цифровых неметрических камер. Предложена классификация программных средств, в основу которой положены критерии стоимости, модели учета дисторсии объектива, стабильности и точности вычислительного алгоритма. Поскольку цифровые неметрические камеры используются преимущественно для решения прикладных локальных задач, наиболее эффективным является использование недорого специализированного программного обеспечения. В работе исследованы условно дорогие программы Australis (Австралия), PhotoScan Pro (Израиль), PhotoModeler (США) и 3D Image Master (Япония). Каждая из этих программ обладает определенными преимуществами и недостатками, но в среднем наиболее эффективной оказалась программа PhotoModeler (США). Наиболее интересные результаты были получены при исследовании дешевых программных средств: XSIGNO Photogrammetry (Япония), GML Camera

Calibration (Россия), Camera Calibration Tools (Великобритания), Camera Calibrator (фирма Photometrix, разработчик iWitness и Australis), Image Master Calib (фирма TOPCON), Agisoft Lens (фирма Agisoft, разработчик PhotoScan Pro), Faucal Matlab, Matlab Camera Calibration TOOLBOX. Общій анализ результатов показал, что при калибровке преимущество следует отдать программам типа PhotoModeler, а при финансовых ограничениях – программам типа Faucal для Matlab.

Ключевые слова: *цифровая фотограмметрия, неметрическая камера, калибровка, параметры дисторсии, тестовый объект.*

O.M. Honcheruk

STUDY OF SOFTWARE AND MODELS FOR AUTOMATIC CALIBRATION OF NON-METRIC DIGITAL CAMERAS BY THE PLANE TEST OBJECTS

This paper presents the a detailed analysis and practical experimental researches of software tools for the calibration of non-metric digital cameras. The classification of software which is based on value criteria, lens distortion model, the stability and accuracy of the computational algorithm was offered. Since the non-metric digital cameras are mainly used for solving applied local problems the most effective utilization is inexpensive specialized software. We have studied conditionally expensive software: Australis (Australia), PhotoScan Pro (Israel), PhotoModeler (USA) and 3D Image Master (Japan). Each of these programs has certain advantages and disadvantages, but the average PhotoModeler (USA) was the most effective software. The most interesting results were obtained in studies of low-cost software: XSIGNO Photogrammetry (Japan), GML Camera Calibration (Russia), Camera Calibration Tools (GB), CameraCalibrator (Photometrix, Australia), Image Master Calib (TOPCON), Agisoft Lens (Agisoft), Faucal Matlab, Matlab Camera Calibration TOOLBOX. Common analysis of the results showed that the advantage should be given PhotoModeler type programs and under financial constraints Faucal type program for Matlab.

Keywords: *digital photogrammetry, non-metric camera, calibration, parameters of the distortion, the test object.*

Надійшла в редакцію

01.06.2017

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Вимоги до оформлення матеріалів, які подаються до науково-технічного збірника «Інженерна геодезія»

У науково-технічному збірнику «Інженерна геодезія» публікуються статті, які становлять науковий і практичний інтерес.

Статті подаються українською, російською або англійською мовами, підписані кожним з авторів.

Відповідно до постанови ВАК України від 15.01.2003 №7-05/1 **наукові статті мають містити такі елементи:** постановку проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання певної проблеми і на які спирається автор; виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, висвітлюваних у статті; формулювання мети статті: виклад основного матеріалу дослідження з докладним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки за результатами дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

До статті додаються: відомості про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, звання, місце роботи, посада, службова адреса, адреса електронної пошти та контактні телефони).

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

- До розгляду приймають статті, надруковані в одному примірнику на аркушах паперу формату А4 (текст, таблиці, бібліографію друкувати так: поля внизу, ліворуч та праворуч, – 25 мм, вгорі – 20 мм; інтервал «Множитель» 1,15; кегль 12; розмір шрифту анотації – 12; шрифт Times New Roman). Обов'язково слід подати електронну копію статті у форматі Microsoft Word (*.doc).
- Рекомендується, щоб площа, зайнята рисунками, становила 20-25% загального обсягу статті. Всі рисунки слід подавати чорним кольором та обов'язково з підписами.
- На першій сторінці статті у лівому верхньому куті ставиться УДК ..., а праворуч, рядком нижче, вказують ініціали та прізвище автора (грубим шрифтом) разом з інформацією про автора (науковий ступінь, звання, місце роботи, посада), нижче по центру – назва статті грубими великими буквами, потім анотація (мовою статті) курсивом, далі сам текст.
- Обсяг **анотації** українською та російською мовами становить 50 – 100 слів, англійською – 150 – 200 слів. Після кожної анотації наводять ключові слова у називному відмінку мовою анотації через кому (не менше трьох слів кожною мовою).
- Текст статті має містити розділи із заголовками: **«Вступ»**, **«Аналіз досліджень і публікацій»**, **«Постановка завдання»**, **«Основна частина»**, **«Висновки»**, **«Список літератури»**.
- Список літератури слід виділити підзаголовком **«Список літератури»** та оформити згідно з міждержавним стандартом ДСТУ ГОСТ 7.1:2006.
- Окремим блоком слід навести всі бібліографічні посилання (**References**) англійською мовою з транслітерацією оригінальних назв у романському алфавіті (латиницею). Транслітерація, залежно від мови оригіналу джерела, виконується відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 27 січня 2010 року № 55 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею» (для української мови) або вимогам BGN/PCGN (для російської мови). Для оформлення списку літератури англійською мовою слід застосовувати стиль APA (www.apastyle.org/).
- Після списку літератури до статті додають двома мовами **анотацію українською (російською)** та **анотацію (Abstract)** англійською мовою (розширену, структуровану за текстом статті). Кожна анотація супроводжується назвою статті та прізвищами авторів мовою анотації.
- Заповнення останньої сторінки повинно бути не менш як 80%.

Наукове видання

ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Випуск 64

Редагування та коректура *Г.В. Кобриної*

Комп'ютерне верстання *І. С. Аршинкіної*

Дизайн обкладинки: *В.С. Стрілець*
Д.В. Горковчук

Підписано до друку 30.10.2017. Формат 60 × 84 ^{1/16}
Ум. друк. арк. 15,34. Обл.-вид. арк. 16,5.
Тираж 200 прим. Зам. № С251.

Видавець Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680
E-mail: red-isdat@ukr.net, тел. (044)241-54-22, 241-54-87

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
Видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.

Віддруковано у ПП «Скай Солюшенс»
вул. Багговутівська, 36 кв. 46, Київ, Україна, 04107

Свідоцтво про державну реєстрацію юридичної особи
Серія А01 № 624904

ДЛЯ ПОДАТОК