

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ВИПУСК 65, 2018

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 ДАК України №1413 від 24 жовтня 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 №12 від 27 квітня 2018 року)*

**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
site: geojournal.xyz**

© Київський національний університет будівництва і архітектури, 2018

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 СТІЛЕЦЬ**, 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 габілітований, 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**)

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

Марко СКАІОНИ 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

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

Костянтин БУРАК, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інженерної геодезії (Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, **Івано-Франківськ**)

Наталія КАБЛАК, д-р техн. наук, професор кафедри міського будівництва і господарства (Ужгородський національний університет, **Ужгород**)

Ольга КУЛІКОВСЬКА, д-р техн. наук, професор кафедри геодезії (Криворізький національний університет, **Кривий Ріг**)

Костянтин МАМОНОВ, д-р екон. наук, професор, завідувач кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем (Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, **Харків**)

Віктор СИДОРЕНКО, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри геодезії (Криворізький національний університет, **Кривий Ріг**)

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**)

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 65, 2018

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 DAC of Ukraine №1413 from October 24, 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 №12 from April 27, 2018)*

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

site: geojournal.xyz

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 LUMANN, Dr. of Sciences, Professor, Head of the Institute (Jade 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 LEVIN, PhD, Chair and Associate Professor Surveying Engineering School of Technology (Michigan Technological University, **USA**)

EDITORIAL MEMBERS FROM UKRAINE

Ivan ZAEC, Ph.D, Director of Department (Research Institute of Geodesy and Cartography, **Kyiv**)

Kostiantyn BURAK, Dr. of Sciences, Professor, Head of Department of Engineering geodesy (Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, **Ivano-Frankivsk**)

Natalia KABLAK, Dr. of Sciences, Docent of Department of City building and economy (Uzhhorod National University, **Uzhhorod**)

Olga KULIKOVSKA, Dr. of Sciences, Professor of Department of Geodesy (Kryvyi Rih National University, **Kryvyi Rih**)

Kostiantyn MAMONOV, Dr. of Sciences, Professor of Land management and GIS (O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, **Kharkiv**)

Victor SYDORENKO, Dr. of Sciences, Professor, Head of Department of Geodesy (Kryvyi Rih National University, **Kryvyi Rih**)

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**)

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. *Б.Д. Бачишин, Д.В. Ярмолін* Обґрунтування граничного відхилення залізобетонних колон від вертикалі на основі аналізу їх напружено-деформованого стану 9
2. *С.П. Войтенко* Імовірісно-статистичний аналіз осідань і деформацій інженерних споруд 17
3. *В.С. Староверов, К.О. Нікітенко* Оцінка точності дистанційної діагностики трубопроводу із застосуванням БПЛА серії SUPERCAM 25
4. *К.Р. Третяк, М.В. Дума* Оптимальне проектування і згущення інженерних ГНСС-мереж 32
5. *Ю.В. Медведский* Решение задачи геодезического мониторинга высотных сооружений с применением неметрических цифровых камер 41
6. *К.О. Бурак, В.М. Ковтун, Л.І. Дорош* До питання визначення деформацій інженерних споруд тригонометричним нівелюванням 56
7. *Р.В. Шульц, А.М. Хайлак* Застосування методу групового врахування аргументів для прогнозування вертикальних переміщень точок на зсувах 65

КАДАСТР І МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

8. *О.С. Петраковська, М.Ю. Михальова* Методика забезпечення необхідними земельними ресурсами при будівництві об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури 84
9. *О.С. Петраковська, Ю.Є. Трегуб* Систематизація факторів, що впливають на визначення розмірів обмежень у використанні земель 92

ГЕОІНФОРМАТИКА ТА КАРТОГРАФІЯ

10. *А.А. Лященко, Ю.С. Максимова* Шляхи удосконалення системи умовних картографічних позначень для автоматизації підготовки містобудівної документації в ГІС 104
11. *Т.В. Гуцул* Прикладні аспекти програмно-апаратної реалізації методу геоінформаційної мультиагентної оптимізації планування транспортних потоків дорожньої мережі 114
12. *М.М. Томащук* Можливості геоінформаційного аналізу в дослідженнях транспортної доступності потенційних адміністративних центрів об'єднаних територіальних громад 126
13. *А.А. Лященко, В.В. Залужна* Методичні засади геоінформаційного моніторингу осушуваних земель 135
14. *О.В. Гаврюшин* Узагальнення різночасових даних з історії адміністративно-територіального поділу засобами ГІС 150
15. *Л.В. Примак* Основні вимоги до складу топографічного забезпечення для радіочастотного планування телекомунікаційних систем 158
16. *Н.Ю. Лазоренко-Гевель, І.О. Галіус* Геоінформаційні моделі бази геопросторових даних будівель і споруд 169

ФОТОГРАММЕТРІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

17. *Б.В. Четверіков, К.Р. Онуфрак* Методика визначення наслідків стихійних лих за різночасовими даними ДЗЗ (на прикладі штатів Техас і Флорида) 181

З М І С Т

18. V. Seredovich, I. Kamnev Analysis of the three-dimensional vector façade model created from photogrammetric data	189
19. K. Vach Application of 3D-technology for modelling of architectural monuments in the Czech republic	202
20. Ю.В. Горковчук, Д.В. Горковчук, Н.В. Куліченко Дослідження крену споруди баштового типу методом наземного лазерного сканування	209
21. О.Є. Куліковська, Ю.Ю. Атаманенко, О.К. Копайгора Результати калібрування цифрової камери БПЛА за аерознімками тестового полігону	218
22. Б.Р. Сосса Визначення оптимального типу і розміру площинних марок, що застосовуються під час калібрування наземних лазерних сканерів	227
23. О.М. Гончерюк Методика виконання попереднього розрахунку точності фотограмметричних моделей створених за даними low-cost фотограмметрії	238
ОСВІТА	
24. Ю.О. Карпінський, Є.О. Рейцен, Н.М. Кучеренко Архітектура – будівництво – транспорт – туризм	255
ДО ВІДОМА АВТОРІВ	264

C O N T E N T S

GEODESY

1. *B. Bachyshyn, D. Yarmolin* Justification of the boundary deviation of reinforced concrete columns from the vertical based on the analysis of their stress-strain state 9
2. *S. Voitenko* Probabilistic-statistical analysis of sediments and deformations of engineering construction 17
3. *V. Staroverov, K. Nikitenko* Evaluation of accuracy of distance diagnostics of the pipeline with the use of SUPERCAM supply series 25
4. *K. Tretyak, M. Duma* Optimal design and thickening engineering GNSS-network 32
5. *Y. Medvedskyi* The solution of the problem of geodesic monitoring of high-rise buildings with the application of non-metric digital cameras 41
6. *K. Burak, V. Kovtun, L. Dorosh* To the question of defining the deformation of engineering structures by trigonometric leveling 56
7. *R. Shults, A. Khailak* Application of the group method of data handling for prediction of points vertical displacements on the landslide 65

CADASTRE AND MONITORING OF LANDS

8. *O. Petrakovska, M. Mykhalova* The method of provision of land resources in construction of engineering and transport infrastructure objects 84
9. *O. Petrakovska, Yu. Trehub* Systematization of factors affecting definition of buffer zones 92

GEOINFORMATICS AND CARTOGRAPHY

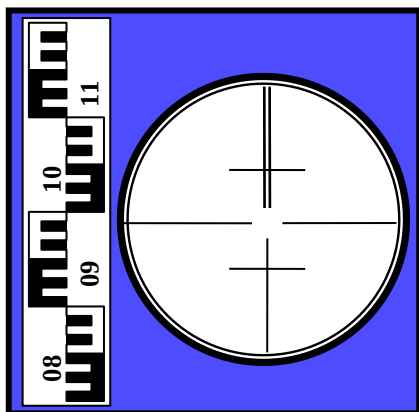
10. *A. Lyashchenko, Yu. Maksymova* Ways of improving the system of conditional cartographic symbols for automatization of urban planing documentation preparation in GIS 104
11. *T. Hutsul* Applied aspects of software implementation of geoinformation multiagent optimization method planning transport flows of the road network 114
12. *M. Tomashchuk* Possibilities of geoinformation analysis in researches of transport accessibility of potential administrative centers of joint territorial communities 126
13. *A. Lyashchenko, V. Zaluzhna* Methodical bases geoinformation monitoring of drained lands 135
14. *O. Havriushyn* Generalization of different-time data on the history of administrative-territorial division in GIS 150
15. *L. Prymak* The main requirements for topografic components for the purposes of radio network planning and optimization 158
16. *N. Lazorenko-Hevel, I. Halius* Geoinformation models of the geospatial database buildings and structures 169

PHOTOGRAMETRY AND EARTH REMOTE SENSING

17. *B. Chetverikov, K. Onufra* Method of determination of consequences of related results by different time data (example of Techas and Florida states) 181
18. *В. Середович, І. Камнев* Аналіз тривимірної векторної моделі фасаду, створеної за фотограмметричними даними 189
19. *K. Вах* Застосування 3D-технології для моделювання архітектурних пам'яток у Чеській республіці 202
20. *Y. Horkovchuk, D. Horkovchuk, N. Kulichenko* Investigation of a roll of the tower construction by the method of the terrestrial laser scanning 209
21. *O. Kulikovska, Yu. Atamanenko, O. Kopayhora* Results of calibration of digital camera for UAV based on aerial images of the test site 218

C O N T E N T S

22. <i>B. Sossa</i> Determination of optimal type and size of plane-based targets using in terrestrial laser scanners calibration	227
23. <i>O. Honcheruk</i> Method of performing the preliminary accuracy calculation of photogrammetric models created on the basis of low-cost photogrammetry data	238
EDUCATION	
24. <i>Yu. Karpinskyi, Ye. Reitsen, N. Kucherenko</i> Architecture – construction – transport–tourism	255
NOTED AUTHORS	264



ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.48

Б. Д. Бачишин, канд. техн. наук, доцент,

Д. В. Ярмолін, аспірант,

кафедра геодезії та картографії,

Національний університет водного господарства

та природокористування

ОБҐРУНТУВАННЯ ГРАНИЧНОГО ВІДХИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН ВІД ВЕРТИКАЛІ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

Визначено граничні відхилення під час спорудження залізобетонних колон на основі методу, який враховує напружено-деформований стан конструкції, відповідно до гаусового показника надійності колони. Отримані результати порівняно з даними, наведеними в будівельних нормативних документах для цих конструкцій. Встановлено близькість отриманих граничних похибок за різними методами, що свідчить про можливість і правомірність застосування згаданого методу до інших будівельних конструкцій, зокрема унікальних. Виявлено диференційовану картину розподілу значень граничних відхилень для колон однакової довжини. Це пояснюється тим, що в розглянутому методі враховано опір та зусилля конструкції, їх варіації та варіації аргументів опору та зусилля.

Ключові слова: *граничне відхилення, напружено-деформований стан, залізобетонна колона, гаусовий показник надійності.*

Вступ. Залізобетонні колони – один із найбільш масових і відповідальних конструктивних елементів у сучасному будівництві. Для того щоби оперувати оптимальними значеннями похибок геодезичних робіт, які б забезпечували надійне функціонування колон і будівельного об'єкта загалом за мінімальних затрат на геодезичні роботи, необхідно врахувати вплив похибок геодезичного забезпечення на зміну зусиль в конструкції та на підставі результатів аналізу цих змін встановити точність такого забезпечення.

Аналіз досліджень і публікацій. У нормативних будівельних документах регламентовано допустимі відхилення під час спорудження (монтажу) залізобетонних колон [1] залежно від їх висоти. Розміри, площа поперечного

перерізу колон, площа арматури, а тим більше зусилля, які виникають в колоні, не відображено у цих документах. Останніми роками популярним напрямом наукових досліджень є врахування впливу похибок на всіх технологічних етапах спорудження будівельних об'єктів на зміну зусиль в конструкціях [2-4]. Але ці дослідження стосуються унікальних будівельних споруд: будівельних оболонок, вантових покриттів, баштових споруд, мостових переходів, фундаментів газокompресорних станцій, щодо яких допустимі відхилення елементів в нормативних документах не зазначені.

Нам не траплялися публікації, в яких були б спроби визначити допустимі похибки геодезичних робіт для масових будівельних конструкцій – залізобетонних колон на підставі аналізу їх напружено-деформованого стану.

Постановка завдання. Потрібно визначити допустимі відхилення під час спорудження залізобетонних колон на підставі аналізу напружено-деформованого стану конструкцій, виходячи з гаусового показника надійності колони, та порівняти отримані результати з даними, наведеними в будівельних нормативних документах для цих конструкцій.

Основна частина. Аналізуючи похибки технологічного ланцюжка під час монтажу залізобетонних колон, можна зауважити, що не всі вони впливають на зміну зусиль в конструкції. Зміщення низу колони в плані відносно осей практично не впливають на її напружено-деформований стан, натомість впливають похибки геометричних розмірів поперечного перерізу в процесі виготовлення колони та похибки площі поперечного перерізу під час виготовлення і деформації арматури, а також похибки встановлення колони у вертикальне положення.

Ці похибки призводять до двох негативних ситуацій з погляду роботи колони як пружного тіла:

- зменшуються робочі розміри поперечного перерізу колони, отже, і висота стисненої зони бетону і, як наслідок, зменшується опір перерізу;
- з'являється додатковий випадковий ексцентриситет прикладання зусилля, що веде до збільшення розрахункового зусилля.

Застосуємо для залізобетонних колон методику обґрунтування точності геодезичних робіт, розроблену для оболонок [4]. Призначення допусків на монтаж здійснюють за умови, що зусилля в колоні не повинно перевищити опору з початковою надійністю $H(0)$. Цій умові відповідає квадратне рівняння

$$m_R^2 - 2r_{RS}m_Rm_S + m_S^2 - \left(\frac{R-S}{\beta_g} \right)^2 = 0, \quad (1)$$

де R – опір; S – зусилля; β_g – гаусовий показник надійності, відповідний імовірнісному показнику $H(0)$; m_R, m_S – відповідно середні квадратичні похибки опору та зусилля; r_{RS} – коефіцієнт кореляції похибок опору та зусилля.

Розрахунок колон виконують як позакентрово стиснутих елементів. Опір та зусилля для таких перерізів визначають за формулами:

$$\left. \begin{aligned} S &= S_{cm} \cdot e \\ R &= R_b \cdot b \cdot x \cdot (h_0 - 0.5x) + R_s \cdot A'_s \cdot (h_0 - a') \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

де S_{cm} – стискаюче зусилля; e – ексцентриситет прикладання зусилля; R_b , R_s – нормативна призмova міцність бетону й арматури відповідно; b – номінальна ширина перерізу колони; x – висота стисненої зони бетону; h_0 – робоча висота перерізу ($h_0 = h - a$); h – номінальна висота перерізу; a – віддаль від рівнодійної зусиль в розтягнутій арматурі до найближчої грані перерізу (захисний шар бетону); A'_s – номінальна площа перерізу арматури в стисненій зоні; a' – віддаль від рівнодійної зусиль в стиснутій арматурі до найближчої грані перерізу (захисний шар бетону).

Припустивши, що аргументи функцій опору R та зусилля S некорельовані, запишемо середні квадратичні похибки опору на зусилля, лінеаризуючи формули (2)

$$m_S^2 = e^2 m_{cm}^2 + S_{cm}^2 m_e^2; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} m_R^2 &= b^2 x^2 (h_0 - 0.5x)^2 m_{R_b}^2 + R_b^2 x^2 (h_0 - 0.5x)^2 m_b^2 + R_b^2 b^2 (h_0 - x)^2 m_x^2 + \\ &+ (R_b \cdot b \cdot x + R_s \cdot A'_s)^2 m_{h_0}^2 + (A'_s (h_0 - a'))^2 m_{R_s}^2 + (R_s (h_0 - a'))^2 m_{A'_s}^2 + \\ &+ (R_s A_s)^2 m_{a'}^2, \end{aligned} \quad (4)$$

де m_{R_b} – середня квадратична похибка визначення призмовой міцності бетону; m_b – середня квадратична похибка ширини перерізу; m_x – середня квадратична похибка визначення стисненої зони бетону; m_{h_0} – середня квадратична похибка визначення робочої висоти перерізу; m_{R_s} – середня квадратична похибка опору сталі; $m_{A'_s}$ – середня квадратична похибка площі перерізу арматури в стисненій зоні; $m_{a'}$ – середня квадратична похибка товщини захисного шару бетону; m_{cm} – середня квадратична похибка стискаючого зусилля; m_e – середня квадратична похибка ексцентриситету.

У розгляданому випадку середні квадратичні похибки опору та зусилля є корельованими, тому що похибки непертикальності колони впливають і на похибку опору, і на похибку зусилля. Вважатимемо, що $r_{RS} = 0,5$, і визначимо з рівняння (1) m_R , вибравши менший з двох коренів квадратного рівняння (1):

$$m_R = \frac{m_S - \sqrt{m_S^2 - 4 \left(\frac{R - S}{\beta_g} \right)^2}}{2}. \quad (5)$$

Вплив похибок технологічного ланцюжка монтажу на похибку опору колони (4) буде проявлятися через похибки m_b , m_{h_0} й автоматично через m_x . Тому вважатимемо, що

$$m_{h_0} = m_x = m_b = m_m. \quad (6)$$

Згрупуємо доданки у формулі (4) з похибкою монтажу m_m і визначимо її:

$$m_m = \sqrt{\frac{m_R^2 - b^2 x^2 (h_0 - 0.5x)^2 m_{R_b}^2 - (A'_S (h_0 - a'))^2 m_{R_S}^2 - (R_S (h_0 - a'))^2 m_{A_S'}^2 - (R_S A_S)^2 m_{a'}^2}{R_b^2 x^2 (h_0 - 0.5x)^2 + R_b^2 b^2 (h_0 - x)^2 + (R_b \cdot b \cdot x + R_S \cdot A'_S)^2}}. \quad (7)$$

Розрахунок за формулами (3), (5), (7) виконано двома наближеннями. В першому наближенні у формулі (3) брали $m_e = 0$, обчислювали m_S , потім m_R і насамкінець m_m . У другому наближенні вважали, що похибка ексцентриситету прикладання зусилля дорівнює похибці монтажу, обчислений у першому наближенні:

$$m_e = m_m. \quad (8)$$

Похибка m_m є результатом дії кількох чинників:

- температурних деформацій на початковому етапі експлуатації – $m_{ТД}$;
- похибок, зумовлених усадкою і повзучістю бетону в стиках колони з верхнім і нижнім перекриттями – $m_{УПБ}$,
- похибок, спричинених статичною роботою колони на початковому етапі експлуатації – отримання навантаження від перекриття, колон верхніх поверхів і перекриттів наступних поверхів – $m_{СТР}$,
- похибок унаслідок геодезичних розмічувальних, монтажних робіт і похибок виготовлення і деформації конструкцій – m_G .

$$m_m^2 = m_{ТД}^2 + m_{УПБ}^2 + m_{СТР}^2 + m_G^2. \quad (9)$$

Поставимо вимогу мізерності впливу складової m_G на загальну похибку m_m :

$$m_G = \frac{m_m}{\sqrt{10}}. \quad (10)$$

Для переходу від середньої квадратичної похибки до граничного відхилення в Україні використовують два коефіцієнти – 2 і 3, тоді як в деяких європейських країнах цей коефіцієнт один і дорівнює 2,5. Застосування одного коефіцієнта забезпечує однозначну залежність між згаданими похибками. Пропонуємо в цій роботі використати єдиний коефіцієнт – 2,5.

$$\delta_G = \frac{2.5 m_m}{\sqrt{10}}. \quad (11)$$

Розрахунок за цією методикою виконано для 10 типів реальних колон. Для розрахунку використано усереднені показники похибок m_{R_b} , m_{R_S} , $m_{A'_S}$, $m_{a'}$, отриманих із статистичних досліджень. У роботі [5] $m_{R_b} / R_b = 9 \div 10\%$, $m_{R_S} / R_S = 8 \div 9\%$ для збірних конструкцій; в роботі іншого автора [6] наведено схожі дані: $m_{R_b} / R_b = 6 \div 25\%$, $m_{R_S} / R_S = 5 \div 14\%$. В [7] $m_{R_b} / R_b = 12\%$ для монолітних конструкцій з бетону класу C20/25 та $m_{R_b} / R_b = 8\%$ для бетону класу B60.

Використано такі середні значення:

$$\left. \begin{aligned} m_{R_b} &= 0.125R_b \\ m_{R_s} &= 0.09R_s \end{aligned} \right\}. \quad (12)$$

Площу арматури витримують точніше (відносне відхилення дорівнює 2,5% [5] та 2% [6]), ніж товщини захисного шару бетону, коливання якої може становити 6–8% [5; 6]. В дисертації [7] наведено середнє квадратичне відхилення товщини захисного шару бетону для монолітних колон – 20,9 мм.

У різних джерелах трапляється інформація про те, що формули, наведені в державних стандартах ДЕСТ для розрахунку перерізів будівельних конструкцій, забезпечують визначення зусиль з похибкою 5%, для розрахунку нами взято $m_{cm} = 0,05 \cdot S_{cm}$.

У табл. 1 наведено вихідні дані для розрахунків – реальні значення параметрів для різних колон, а в табл. 2 – результати. В розрахунках взято: висота стисненої зони бетону $x = 0.93 \cdot b$; випадковий ексцентриситет $e = h/30$; початкова надійність для колон $H(0) = 0.999$ [8], що відповідає $\beta_g = 3.25$. Усі колони виготовлено з бетону марки C20/25 ($R_b = 18.5$ МПа) й арматури класу A400C ($R_s = 400$ МПа). Стискаючі зусилля S_{cm} розраховані програмним забезпеченням «Мономах».

Для порівняння отриманих результатів ми використали значення граничних відхилень рисок на колоні для багатоповерхових будинків з мітками осей в нижньому перерізі ± 8 мм та у верхньому перерізі ± 12 мм за довжини колони до 4 м і ± 15 мм за довжини колони від 4 до 8 м [1]. У несприятливому випадку граничне відхилення від вертикалі згідно з нормативним документом [1] становитиме відповідно ± 20 мм для колон довжиною до 4 м та ± 23 мм за довжини від 4 до 8 м.

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунків

Об'єкт	b , м	h , м	$a = a'$, см	S_{cm} , Н	A_s , кв.см.	L , м
Нетішин 1	0,5	0,5	3,75	4797413	78,54	2,28
Нетішин 5	0,4	0,4	4,75	3192065	25,13	3,10
Нетішин 9	0,4	0,4	4,75	589380	8,04	3,10
Молокозавод 1	0,4	0,4	4,75	1057157	8,04	4,60
Молокозавод 2	0,4	0,4	4,75	1775984	8,04	4,60
Набережний квартал	0,4	0,4	4,75	2333983	10,18	4,30
Адміністративний центр	0,3	0,6	4,00	3011622	19,23	2,40
Сковороди 1	0,4	0,4	5,50	702156	25,12	4,20
Сковороди 3	0,4	0,4	5,50	798261	25,12	4,20
Київська 1	0,4	0,4	5,50	1713222	8,04	3,10

Таблиця 2

Результати розрахунків

Об'єкт	R, Нм	S, Нм	m_m , мм 1-е наближен- ня	$\delta_r = 2.5m_r$, мм	$\delta_r = 2m_r$, мм	δ_r , мм з ДБН
Нетішин 1	2323788	79957	86,1	34,5	27,6	20
Нетішин 5	883177	42561	57,2	15,6	12,5	20
Нетішин 9	556410	7858	48,2	34	27,2	20
Молокозавод 1	556410	14095	47,5	29,6	23,7	23
Молокозавод 2	556410	23680	46,4	21,4	17,1	23
Набережний квартал	582459	31120	47,0	14,6	11,7	23
Адміністративний центр	1467523	30116	103,8	29,8	23,8	23
Сковороди 1	729087	9362	54,0	38,2	30,6	23
Сковороди 3	729087	10643	53,9	37,4	29,9	23
Київська 1	530959	22843	44,5	21,1	16,9	20

Висновок. Отримані результати свідчать про таке:

1. Граничні відхилення від вертикалі для залізобетонних колон, отримані на основі методу, який враховує напружено-деформований стан конструкції, є співрозмірними, близькими до граничних відхилень, наведених в нормативних документах. Це свідчить про можливість і правомірність застосування згаданого методу обґрунтування точності геодезичного забезпечення для інших будівельних конструкцій, зокрема унікальних.

2. Як слід було сподіватися, ми отримали диференційовані значення граничних відхилень для колон однакової довжини, тому що у застосовуваному нами методі враховано опір і зусилля конструкції, а також їх варіації і варіації аргументів опору та зусилля. Отримані похибки виявилися як меншими, так і більшими за значення, наведені в нормативних документах.

3. Застосований метод розрахунку граничних відхилень є більш повним й універсальним, адже враховує, крім того, імовірнісний показник надійності всієї конструкції.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Несущие и ограждающие конструкции: СНиП 3.03.01-87 – М. : Стройиздат, 1991. – 192 с.
2. Бачишин Б. Д. Обґрунтування точності геодезичного забезпечення будівельних конструкцій на основі аналізу їх роботи як пружних тіл. Стан та перспективи / Б. Д. Бачишин // Інженерна геодезія. – 2014. – Вип.61. – С. 6–12.
3. Чибіряков В. К. Визначення точності геодезичних робіт при будівництві аркових мостових опор / В. К. Чибіряков, В. С. Старовєров, О. В. Адаменко // Інженерна геодезія. – 2010. – Вип.55. – С. 195–203.

4. Бачишин Б. Д. Допустимі похибки геодезичного забезпечення спорудження оболонок/ Б. Д. Бачишин // Інженерна геодезія. –2002.– Вип.46. – С. 8–14.
5. Судаков В. В. Контроль качества и надежности железобетонных конструкций / В. В. Судаков. – Л. : Стройиздат, 1980. – 168 с.
6. Кудзис А. П. Оценка надежности железобетонных конструкций / А.П. Кудзис. – Вильнюс: Москлас, 1985. – 156 с.
7. Кузеванов Д. В. Надежность внецентренно сжатых железобетонных элементов при расчете по прочности нормальных сечений : дис. ... канд. техн. наук / Д. В. Кузеванов. – М., 2012. – 187 с.
8. Пічугін С.Ф. Розрахунок надійності будівельних конструкцій: монографія/ С.Ф. Пічугін. – Полтава: АСМІ, 2016. – 520 с.

REFERENCES

1. Nesushchie i ohrazhdaiushchie konstruksiji [Supporting and protecting structures]. (1987). *SNIP 3.03.01-87 from 1st June 1987* - Moscow: TSTIP USSR State Construction Committee [in Russian].
2. Bachyshyn, B.D. (2014). Obgruntuvannia tochnosti heodezychnoho zabezpechennia budivelnnykh konstruksii na osnovi analizu yikh roboty yak pruzhnykh til. Stan ta perspektyvy [Justification of accuracy of geodetic support of building structures based on an analysis of their work as elastic bodies: status and prospects]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 61, 6–12 [in Ukrainian].
3. Chibirjakov, V. K. & Staroverov, V. S. & Adamenko, O.B. (2010). Vyznachennja tochnosti heodezychnykh robit pry budivnytvi arcovykh mostovykh opor [Determining the accuracy of geodetic work at the building of arch bridge constructions]. *Inzhenerna geodeziia – Engineering geodesy*, 55, 195–203 [in Ukrainian].
4. Bachyshyn, B. D. (2002). Dopustymi pokhybky heodezychnoho zabezpechennja sporudzhennja obolonok [Permissible errors of geodetic support the building of shells]. *Inzhenerna geodeziia – Engineering geodesy*, 46, 8–14 [in Ukrainian].
5. Sudakov, V. V. (1980). *Kontrol kachestva i nadezhnosti zhelezobetonnykh konstruksij* [Control of quality and reliability of reinforced concrete structures]. Leningrad: Strojizdat [in Russian].
6. Kudzis, A. P. (1985). *Otsenka nadezhnosti zhelezobetonnykh konstruksij* [Assessment of the reliability of reinforced concrete structures]. Vilnius: Mosklas [in Russian].
7. Kuzevanov, D. V. (2012). Nadezhnost vnetsentrenno szhatykh zhelezobetonnykh elementov pri raschete po prochnosti normalnykh sechenij [Reliability eccentrically compressed concrete elements in calculating the strength of normal section]. *Candidate's thesis*. Moscow [in Russian].
8. Pichuhin, S.F. (2016) *Rozrakhunok nadiinosti budivelnnykh konstruksii* [Reliability calculation of building structures]. Poltava: TOV «ACMI» [in Ukrainian].

Б. Д. Бачишин, Д. В. Ярмолин**ОБОСНОВАНИЕ ПРЕДЕЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН ОТ ВЕРТИКАЛИ НА ОСНОВАНИИ АНАЛИЗА ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ**

Определены предельные отклонения при сооружении железобетонных колонн на основании метода, который учитывает напряженно-деформированное состояние конструкции, исходя из гауссового показателя надежности колонны. Полученные результаты сравнены с данными, приведенными в строительных нормативных документах для этих конструкций. Установлено близость полученных предельных погрешностей различными методами, что свидетельствует о возможности и правомерности применения упомянутого метода для других строительных конструкций, в том числе уникальных. Выявлено дифференцированную картину распределения значений предельных отклонений для колонн одинаковой длины. Это объясняется тем, что данный метод учитывает сопротивление и усилия конструкции, их вариации и вариации аргументов сопротивления и усилия.

Ключевые слова: предельное отклонение, напряженно-деформированное состояние, железобетонная колонна, гауссов показатель надежности.

B. Bachyshyn, D. Yarmolin**JUSTIFICATION OF THE BOUNDARY DEVIATION OF REINFORCED CONCRETE COLUMNS FROM THE VERTICAL BASED ON THE ANALYSIS OF THEIR STRESS-STRAIN STATE**

The boundary deviations for the construction of reinforced concrete columns are determined on the basis of the method, which takes into account the stress-strain state of construction, based on the Gaussian reliability index of the column and the comparatively obtained results with the data contained in the building normative documents for these constructions were made. The proximity of the obtained permissible errors with different methods is established, which testifies to the possibility and lawfulness of the application of the mentioned method of justification of the accuracy of geodetic support for other building constructions, including unique ones. A differentiated picture of the values distribution of boundary deviations for equal length columns was found. This is explained by the fact that the considered method, in addition to the geometric parameters, takes into account the resistance and constructional forces, their variations and variations of the arguments of resistance and effort. The method used to calculate the limit deviations here is more complete and versatile, because it takes into account, moreover, the probabilistic reliability index of the entire design at the initial operation stage.

Keywords: boundary deviations, the stress-strain state, reinforced concrete column, Gauss reliability index.

С.П.Войтенко, д-р техн. наук, професор,
зав. кафедри інженерної геодезії
Київський національний університет будівництва і архітектури

ІМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ОСІДАНЬ І ДЕФОРМАЦІЙ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД

Сучасні методи ймовірнісно-статистичного аналізу дають широкі можливості підвищення інформаційності геодезичних спостережень за осіданням та деформаціями інженерних споруд. В статті використано моделювання процесу осідання споруд із застосуванням теорії довірчих інтервалів, кореляційного аналізу, що сприяє підвищенню якості результатів досліджень інженерних споруд і дає змогу розробити надійні конструктивні заходи для посилення конструкцій, підвищити надійність та довговічність їх експлуатації.

Ключові слова: осідання, матриця, кореляційний момент, коефіцієнт кореляції, функція, довірчий інтервал.

Вступ. Дослідження осідань інженерних споруд виконують як на стадії зведення, так і в період експлуатації, коли виявлено ознаки деформації.

Для визначення величини осідання та його прогнозування виконують точні геодезичні спостереження за його розвитком.

Достатньо фахово в літературі розглянуто питання статистичного оброблення результатів геодезичних спостережень за стабільністю вихідних реперів [2] і станом окремих марок, закріплених на споруді. Важливо на сучасному етапі запропонувати методику ймовірнісно-статистичного аналізу сумісного стану осідальних марок, закріплених на інженерній споруді. Для прийняття конструктивних рішень щодо усунення причин деформації споруди важливо знати стан основних вузлів конструкції, на яких закріплюють осідальні (деформаційні) марки, їх взаємодію між собою та надійний прогнозний характер осідання споруди.

Сучасний апарат теоретико-ймовірнісного аналізу осідань дає змогу підвищити інформаційну віддачу результатів геодезичних вимірювань осідань і деформацій споруди.

Аналіз досліджень і публікацій. Дослідження осідань і деформацій інженерних споруд виконувало багато вчених протягом XX століття: Г.К. Ботан, П.І. Брайт, М.Г. Відуєв, В.С. Староверов, Д.М. Міхелев, В.І. Рунов, А.І. Голубцов, Г.П. Левчук, В.Е. Новак, А.Ф. Стороженко та інші.

Достатньо повно розроблено положення проектування геодезичних мереж, конструкції геодезичних знаків вихідної мережі та деформаційних знаків, методи геодезичних спостережень [1; 2; 4].

Дослідники застосовували методи математичної статистики для оброблення результатів вимірювань. Досліджували розподіл рядів вимірів, їх

рівноточність, вплив систематичних похибок і кореляційний аналіз між результатами вимірювання у циклах.

Проф. М.Г. Відуєв та В.С. Староверов велику увагу приділили визначенню необхідної і достатньої точності вимірів, визначенню швидкості деформацій і періодичності вимірювань, визначенню прогнозних характеристик та їх надійності.

Постановка завдання. Мета полягає в тому, щоби запропонувати математичні методи комплексного дослідження осідань споруди за результатами системи закріплених марок, зокрема визначити їх взаємозв'язок, нерівномірне осідання окремих марок, прогнозні характеристики деформацій споруди із застосуванням теорії довірчих інтервалів. Це сприятиме підвищенню якості дослідження деформацій споруди, прийняттю надійних конструктивних рішень для усунення можливих в подальшому осідань і деформацій споруди.

Основна частина. Одним з важливих показників деформаційного процесу є визначення числових характеристик прогнозної моделі осідання інженерних споруд.

Сучасні методи ймовірно-статистичного аналізу результатів геодезичних вимірювань дають змогу отримати важливу достовірну інформацію про параметри осідань та їх розвиток в процесі експлуатації споруди.

Для дослідження осідань фундаментів будинків і споруд поблизу них поза зоною деформації ґрунту закладають один або більше куштів глибинних реперів. На споруді закладають k -марок, положення яких по висоті визначають від глибинних реперів зазвичай високоточним геометричним нівелюванням через певні інтервали, які називають n - циклами вимірювань.

За результатами по k -марках в кожному циклі визначають висоту кожної марки. Отримують матрицю:

$$\begin{pmatrix} H_1^0 & H_2^0 & \dots & H_k^0 \\ H_1^1 & H_2^1 & \dots & H_k^1 \\ H_1^2 & H_2^2 & \dots & H_k^2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ H_1^n & H_2^n & \dots & H_k^n \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де H_i^0 – висота марки нульового циклу;

H_i^j – висота марки в j -му циклі $\left(i = \overrightarrow{1, k}\right), \left(j = \overrightarrow{1, n}\right)$.

Під час статистичного аналізу, обчислимо величину осідання кожної i -ї марки в j -му циклі відносно нульового циклу:

$$h_{ij} = H_i^0 - H_i^j. \quad (2)$$

Отримаємо матрицю осідань марок, яка поступово нарощується в міру збільшення циклів вимірювань:

$$\left. \begin{matrix} h_{11} & h_{12} & \dots & h_{1k} \\ h_{21} & h_{22} & \dots & h_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ h_{n1} & h_{n2} & \dots & h_{nk} \end{matrix} \right\}, \quad \begin{matrix} M(h_1); & m_1^2 \\ M(h_2); & m_2^2 \\ \dots & \dots \\ M(h_n); & m_n^2 \end{matrix}. \quad (3)$$

Обчислимо:

1) математичне сподівання κ -марок споруди поступово в кожному циклі

$$M(h_i) = \sum_i^k h_{ij} / K = \bar{h}_i, \quad (4)$$

де i – номер марки; j – номер циклу спостережень;

2) дисперсію фактора осідання (деформації) в кожному наступному циклі:

$$m_j^2 = \sum_1^k \frac{v_{ij}^2}{k-1}, \quad (5)$$

$$\text{де } v_{ij} = h_{ij} - \bar{h}_i. \quad (6)$$

3) послідовні різниці осідань між суміжними марками в кожному циклі вимірювань:

$$d_{ij} = h_{i+1,j} - h_{ij}; \quad \left(i = \overrightarrow{1,k} \right), \quad \left(j = \overrightarrow{1,n} \right); \quad (7)$$

4) дисперсію послідовних різниць після виконання кожного циклу вимірювань:

$$m_d^2 = \frac{[d_j^2]}{2(k-1)}. \quad (8)$$

Для кожного циклу за критерієм Аббе визначають статистику:

$$\delta_j = \frac{m_d^2}{m_j^2}; \quad \left(j = \overrightarrow{1,n} \right). \quad (9)$$

Гіпотеза про наявність осідання споруди в цілому або окремих її частин визначається критичною областю для кожного циклу вимірювань:

$$\delta_j > \delta_q. \quad (10)$$

Статистику δ_q визначають за табл. 5 [3] за рівнем значущості $q = 1 - p$ і кількістю вимірів за κ – реперами.

Наприклад, якщо $p = 0,99$ $q = 0,01$ і $\kappa = 6$, то за таблицею отримаємо $\delta_q = 0,28$, а за $q = 0,95$ ($q = 0,05$) $\delta_q = 0,44$.

Якщо $\delta_j < \delta_q$, відбувається рівномірне осідання споруди або осідання є несуттєвим.

Зазначимо, що фактор осідання між циклами можна визначити за величиною послідовних різниць між суміжними циклами d_i :

$$d_{ij} = h_{j+1,i} - h_{ji}. \quad (11)$$

Осідання марок між циклами зумовлено похибками вимірів (нівелювання) та величиною осідання марки.

Якщо послідовна різниця по кожній марці між суміжними циклами перевищує допустиму похибку $v_{гр}$ вимірювань, тобто $d_{ij} > v_{гр}$, (12)

то можна стверджувати, що відбувається осідання окремих марок або всіх загалом, отже, й осідання споруди.

Для визначення граничної похибки нівелювання марок скористаємося положенням інструкції [4], згідно з яким визначати осідання фундаментів споруд треба з середньою квадратичною похибкою:

1) особливо відповідальних споруд та споруд, зведених на скельній основі

$$\text{I класу } m_h = \pm 1 \text{ мм};$$

2) для споруд зведених на ґрунтах, що стискаються,

$$\text{II класу } m_h = \pm 2 \text{ мм};$$

3) для споруд на насипних, просадкових і вічномерзлих ґрунтах

$$\text{III класу } m_h = \pm 5 \text{ мм}.$$

Граничні відхилення визначають за формулою:

$$\Delta_{ep} \leq t m_h, \quad (13)$$

де t – параметр, що визначають за таблицями функцій Лапласа [3] залежно від прийнятої довірчої ймовірності P . Відповідно отримуємо:

при $P = 0,99$ $t = 3$,

при $P = 0,95$ $t = 2,5$,

при $P = 0,90$ $t = 2$.

Відповідно граничні похибки послідовних різниць між суміжними циклами дорівнюватимуть

$$\Delta_I = 3 \cdot 1 = \pm 3 \text{ мм}; \Delta_{II} = \pm 5 \text{ мм} \text{ і } \Delta_{III} = \pm 10 \text{ мм}.$$

Висновки:

1) якщо d_{ij} поступово зменшується, то відбувається процес згасання осідання споруди;

2) якщо $\bar{h}_{j+1,i} - \bar{h}_{ji} \leq \Delta_{ep}$, то почався процес стабілізації осідань. Для контролю можна виконати ще один цикл вимірювань і дослідження припинити;

3) якщо $\bar{h}_{j+1,i} - \bar{h}_{ji} > \Delta_{ep}$, то спостерігається осідання споруд і спостережень не слід припиняти;

4) якщо в певному циклі вимірювань виявлено, що для деяких марок послідовні різниці d_{ij} більші за Δ_{ep} ($d_{ij} > \Delta_{ep}$), то відбувається нерівномірне осідання таких марок відносно інших.

Остаточню по завершенню досліджень можна отримати математичну модель процесу осідання споруди і скласти прогноз щодо подальшого розвитку осідань споруди.

Використаємо математичні сподівання осідання закріплених марок на фундаменті споруди в кожному циклі вимірювань $\overline{M}(t_i) = \overline{h}_i$, $(i = 1, k)$ і побудуємо графік (рис.1).

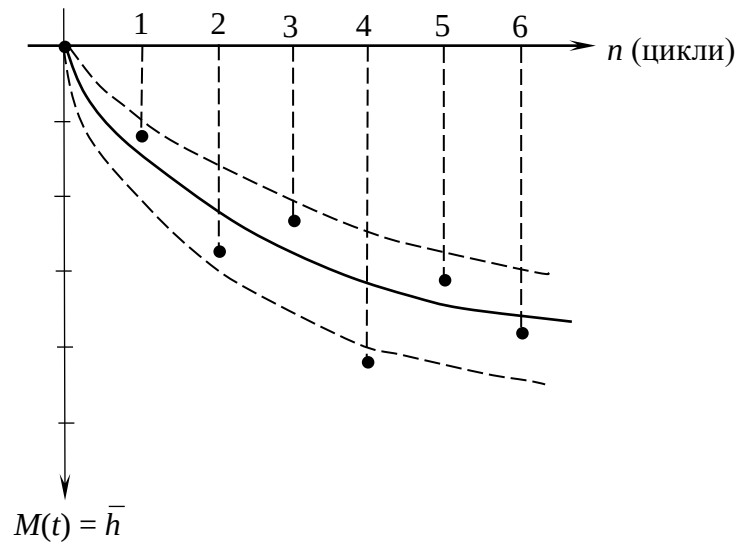


Рис.1. Графік осідань споруди

З вигляду графіка можна попередньо визначити математичну модель рівняння осідань споруди за формулами [3]:

- прямолінійної функції $y = K_1 + K_2x$;
- квадратичної функції $y = K_1 + K_2x + K_3x^2$;
- періодичної функції $y = K_1 + K_2 \sin x + K_3 \cos x$;
- логарифмічної та степеневої функцій $y = K \sin x$; $y = Ke^x$, або $y = e^{kx}$.

Найбільш доцільно виконувати параболічну апроксимацію за методом Чебишева [3], коли не зовсім явно графічно визначається вид функції за формулою:

$$y = K_1 + K_2x + K_3x^2 + \dots + K_nx^{n-1}. \quad (14)$$

Важливо встановити кореляційний зв'язок між суміжними марками: він характеризуватиме взаємний вплив осідання суміжних марок. Це дасть можливість ухвалити правильні конструктивні рішення щодо укріплення окремих частин споруди з метою усунення можливих деформацій споруди.

Для цього обчислюють кореляційні моменти:

$$\overline{K}\{\overline{h}(t_i), \overline{h}(t_j)\} = \overline{K}(t_i t_j), \quad (15)$$

або

$$\overline{K}(t_i t_j) = \frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^k v_i v_j. \quad (16)$$

Отримаємо матрицю кореляційних моментів:

$$\bar{K}_{ij} = \begin{pmatrix} K_{11} & K_{12} & \dots & K_{1k} \\ K_{21} & K_{22} & \dots & K_{2k} \\ K_{k1} & K_{k2} & \dots & K_{kk} \end{pmatrix}. \quad (17)$$

По діагоналі розміщені дисперсії K_{ii} осідань марок $t_1, t_2, \dots, t_k$. Інші коефіцієнти K_{ij} розміщені симетрично відносно головної діагоналі, оскільки

$$\bar{D}(t_i) = K(t_i, t_i) = \frac{1}{k-1} \sum_{j=1}^k v_i^2, \quad (18)$$

$$K_{ij} = K_{ji} = \frac{1}{k-1} \sum_{l=1}^k v_l v_{lj}, \quad (19)$$

де $v_i = h_{ij} - \bar{h}_i$.

Коефіцієнти характеризують міру залежності осідань суміжних марок. Практично використовують безрозмірні коефіцієнти кореляції:

$$r(t_i, t_j) = \frac{\bar{K}(t_i, t_j)}{\sigma(t_i)\sigma(t_j)}. \quad (20)$$

За результатами обчислень отримаємо нормовану матрицю коефіцієнтів кореляції:

$$\bar{r}_{i,j} = \begin{pmatrix} 1 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1k} \\ r_{21} & 1 & r_{23} & \dots & r_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{k1} & r_{k2} & \dots & \dots & 1 \end{pmatrix}. \quad (21)$$

При цьому стандарти визначення осідань марок обчислюють за формулою:

$$\sigma(t_i) = \sqrt{K_{ii}} = \sqrt{\bar{D}(t_i)}. \quad (22)$$

Коли коефіцієнти $r(t_i, t_j) \approx 0$, то відсутній зв'язок осідань між суміжними марками. Якщо $r(t_i, t_j) \approx \pm 1$, то йдеться про значний вплив осідань між суміжними марками. Це дає конструкторам можливість своєчасно ухвалити кваліфіковані рішення для усунення деформацій конструкцій споруди.

Якщо правильно обрано методику визначення осідань споруди з необхідною точністю, то результати вимірювань повинні бути в межах довірчого інтервалу (рис.1).

Визначені математичні сподівання для кожної марки характеризують осідання кожної марки, закріпленої на споруді.

Оскільки в кожному циклі вимірювань зберігається комплекс умов (методика вимірювань не змінюється), то можна обчислити незміщену оцінку дисперсії вектора h за формулою

$$m^2 = \frac{\sum_{j=1}^k (k_j - 1) m_j^2}{(N - k)}, \quad (23)$$

де k – кількість марок закріплених на споруді; N – кількість всіх вимірювань.

Довірчий інтервал для можливих величин осідання закріплених марок визначають за формулою:

$$P\{y_i - tm \leq h_i \leq y_i + tm\} = P, \quad (24)$$

де y_i – обчислене значення функції y в i -циклі вимірювань; P – задана довірча ймовірність надійного визначення деформацій споруди; T – статистика, яку обирають за таблицею [3, дод.3] залежно від P і кількості марок k .

Межі довірчого інтервалу показано на рис.1. Якщо результати всіх вимірювань не виходять за межі довірчого інтервалу, то відбувається закономірний процес осідання за заданої точності вимірювань.

Коли деякі результати осідань марок виходять за межі довірчого інтервалу, то можливими є два висновки:

- 1) якщо це стосується деяких марок, то вони характеризують нерівномірне осідання окремих марок, отже, і деформації конструкцій споруди;
- 2) якщо відхилення маємо по всьому полю, то вимірювання осідань споруди суперечить вимогам необхідної точності.

Висновок. Імовірісно-статистичний аналіз результатів дослідження осідань і деформацій інженерних споруд дає можливість на основі довірчих інтервалів отримати достовірні геометричні параметри стану споруди, визначити якісні характеристики як осідань або деформацій споруди, так і результатів вимірювання.

Одночасно запропоновано виконувати прогнозування характеру деформацій споруди за різними математичними моделями. Кореляційний аналіз результатів вимірювання дасть можливість більш якісно розробляти проекти з укріплення конструкцій споруди для стабілізації осідань і деформацій споруди загалом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Брайт П.И. Геодезические методы измерения деформаций оснований сооружений / П.И. Брайт. – М.: Наука, 1965. – 298 с.
2. Геодезические измерения при изучении деформаций крупных инженерных сооружений: текст / Д.Ш. Михелев, И.В. Рунов, А.И. Голубцов. - Москва: Недра, 1977. - 151 с.
3. Математичне оброблення геодезичних вимірів: підручник / С.П. Войтенко, Р.В. Шульц, О.Й. Кузьмич, Ю.В. Кравченко; за ред. С.П. Войтенка. — К.: Знання, 2015. — 654 с.
4. Руководство по наблюдениям за деформациями фундаментов зданий и сооружений [Текст] / Науч.-исслед. ин-т оснований и подземных сооружений Госстроя СССР. Гос. проектный ин-т «Фундаментпроект» Минмонтажспецстроя СССР. – М.: Стройиздат, 1967. - 93 с.

REFERENCES

1. Bright P.I. (1965). *Geodezicheskie metody izmereniya deformatsiy osnovaniy sooruzheniy* [Geodesic methods for measuring the deformations of the foundations of structures]. Moscow: Nauka [in Russian].
2. Mikhelev D.Sh., Runov I.V., & Golubtsov A.I. (1977). *Geodezicheskie izmereniya pri izuchenii deformatsiy krupnyih inzhenernyih sooruzheniy* [Geodetic

measurements in the study of deformations of large engineering structures] - Moscow: Nedra [in Russian].

3. Voitenko S., Schultz R., Kuzmich O., & Kravchenko Y.(2015). *Matematichne obroblyennya geodezichnih vymiriv [Mathematical processing of geodetic measurements]*. Kyiv: Znannia [in Ukrainian].

4. *Rukovodstvo po nablyudeniym za deformatsiyami fundamentov zdaniy i sooruzheniy* (1967). [Guidance on monitoring deformations of foundations of buildings and structures]. Moscow: Stroizdat [in Russian].

С.П.Войтенко

ВЕРОЯТНОСТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОСАДОК И ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

На современном этапе необходимо повышать степень информативности геодезических наблюдений за осадками и деформациями инженерных сооружений. В статье используется методика моделирования процесса деформаций сооружений с применением доверительных интервалов. Корреляционный анализ позволяет повысить качественный анализ результатов измерений и разработать более надежные конструктивные меры усиления конструкций, повысить надежность и долговечность их эксплуатации.

Ключевые слова: осадка, матрица, корреляционный момент, корреляция, функция, доверительный интервал.

S. Voitenko

PROBABILISTIC-STATISTICAL ANALYSIS OF SEDIMENTS AND DEFORMATIONS OF ENGINEERING CONSTRUCTION

The degree of awareness of geodetic measurements of precipitation and deformation the engineering construction should be increased at the present stage.

The technique for modeling the deformation processes of engineering structures by the use effective methods of probabilistic and statistical analysis the results of geodetic survey is considered in the article.

At the end of each measurement cycle, the development factor of sediments (or deformations) the structure is established according to the system fixed on the construction of sedimentary marks using the Abbe criterion is the peculiarity of the proposed method. The proposed technique allows to establish a stabilizer of structures sediments when increasing the measurement cycles.

The establishment of a uniform or non-uniform subsidence of different parts the structure on the basis of the use the confidence intervals theory is extremely important. The use of correlation analysis makes it possible to establish the degree of dependence (interrelation) of structural deformations between adjacent sedimentary marks. This enables designers and engineers to develop methods of reinforcing structures, which increases the reliability and durability of operation of the structure.

Mathematical models describing the emerging deformations (subsidence) of a structure with the aim of predicting and developing them over time are proposed.

Key words: *sediment, deformation, matrix, correlation moment, correlation, function, confidence interval.*

Надійшла до редакції

02.03.2018

УДК 528.48

В. С. Староверов, канд. техн. наук, професор,
К. О. Нікітенко, аспірант кафедри інженерної геодезії,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ДИСТАНЦІЙНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТРУБОПРОВОДУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БПЛА СЕРІЇ SUPERCAM

У роботі розглянуто методи дистанційної діагностики трубопроводу, їх переваги і недоліки. Проаналізовано різні класи безпілотних літальних апаратів (БПЛА), що можуть бути економічнішими під час проведення ряду робіт порівняно з традиційними методами, а також здатними підвищувати безпеку і якість виконуваних робіт.

Запропоновано використання БПЛА серії Supercam, визначено їх точність і значний внесок в проведення інженерно-геодезичних вишукувань для газотранспортної системи. Завдяки безпілотникам для геодезії фахівці отримують дані, що дають змогу розробити моніторинг трубопроводу, зважаючи на раціональне використання й охорону навколишнього середовища, прогнозувати зміни природного середовища ділянки під впливом будівництва й експлуатації трубопроводу.

Ключові слова: *газопровід, безпілотні літальні апарати (БПЛА), дрон, дистанційна діагностика, цифрова модель поверхні (ЦМП).*

Вступ. Безпілотні літальні апарати (БПЛА), відомі також як безпілотники або дрони, вже міцно закріпилися в багатьох галузях людської діяльності. Кількість їх зростає з величезною швидкістю, як і коло завдань, які можна вирішувати за їх допомогою.

Вимірювання й аерофотозйомка місцевості, виконувані безпілотними літальними апаратами, нині є актуальним і рентабельним вирішенням багатьох питань в галузі геодезії і топографії.

Використовувані в геодезії БПЛА, пролітаючи заданим маршрутом як в автоматичному, так і в напіваавтоматичному режимі, отримують точні і достовірні фото- і відеоматеріали про особливості рельєфу місцевості, на якій заплановано будівельні роботи, виконують наземне лазерне сканування, геологорозвідку, моніторинг будівель і споруд. Отримані з безпілотника й оброблені в спеціалізованому програмному забезпеченні дані є основою в проектуванні будівництва, створенні цифрових й електронних карт, складанні топографічних

планів місцевості та виконанні моніторингу інженерних споруд великої протяжності.

Дрони можна використовувати для повітряної інспекції факельних труб, паливних сховищ, ліній електропередачі та трубопроводів. Їх основна перевага - можливість доступу до важкопрохідних і небезпечних зон. Завдяки БПЛА заощаджують значні кошти і підвищують безпеку виконуваних робіт.

За допомогою безпілотної літальної апаратури можна зібрати велику кількість даних, на підставі яких складають моделі, що відображають збої і неполадки в роботі трубопроводу. БПЛА може обстежити елементи технологічних вузлів, небезпечних або недоступних для людини, не зупиняючи всього процесу, наприклад, факельні системи.

Дрони здатні також відстежувати тріщини і корозію і картографувати динаміку їх поведінки, виявляти витікання газу, розливи нафти, а також запобігати спробам незаконних врізань в трубопровід, що можуть призвести до розкрадання або аварії. За допомогою безпілотних літальних апаратів можна виконувати інспекцію і патрулювання, обстеження лінійної частини та моніторинг трас магістральних трубопроводів.

Отже, актуальним завданням є визначення основних методів повітряного моніторингу технічного стану газотранспортної системи.

Аналіз досліджень і публікацій. Останніми роками з'явилася велика кількість публікацій про використання для вирішення топографічних завдань безпілотних літальних апаратів або безпілотних авіаційних систем (БАС), авторами яких є С.Л. Данилюк, Г. Євстаф'єв, М. Павлушко, І.С. Романченко, С.М. Чумаченко, Д.Ф. Хасенов та багато інших провідних російських й українських учених і приватних організацій.

Такий інтерес значною мірою викликаний простотою експлуатації згаданих літальних апаратів, їх економічністю, відносно невисокою вартістю, оперативністю та ін., що за наявності ефективних програмних засобів автоматичної обробки матеріалів аерофотозйомки (зокрема вибір потрібних точок) відкривають можливості для широкого використання програмно-технічних засобів безпілотної авіації в практиці інженерно-геодезичних вишукувань. Але повною мірою виявити небезпеку, що може виникнути на трасі газопроводу, БПЛА не може, оскільки залежить від стану атмосфери; не завжди достатнього рівня точності для топографо-геодезичних додатків; погіршення точності внаслідок збільшення висоти; недостатньо високої кваліфікації персоналу.

Постановка завдання. Метою роботи є підвищення безпеки магістральних газопроводів на зсувонебезпечних ділянках за допомогою сучасних БПЛА.

Основна частина. Можливості проведення видів зйомки, які розглянуто в попередній статті [1], за короткий проміжок часу в поєднанні з мінімальними фінансовими витратами на виконання всіх видів робіт досягають завдяки безпілотним літальним апаратам. Методи дистанційної діагностики трубопроводу із застосуванням БПЛА є, по суті, окремим випадком сучасного розвитку аерокосмічних методів діагностики трубопровідних систем. Таку діагностику виконують за три етапи [2]:

а) етап передполітної підготовки:

- аналіз проектної, будівельної, експлуатаційної документації на об'єкти обстеження;

- вирішення питань підбору цільового устаткування і літальних апаратів;
- калібрування і юстирування знімального обладнання;
- підбір або створення картографічної основи для політних карт;
- розробка й узгодження програми практичних польотів;

б) етап натурних досліджень:

- вирішення організаційних питань в експлуатаційних підрозділах замовника;
- виконання наземної розвідки, уточнення точок стартів;
- тестові польоти БПЛА;
- виконання різних видів цифрової аерофотозйомки (фото-, відеозйомка, зйомка тепловізором);

- отримання й оперативна оцінка якості результатів;

в) етап обробки даних, що охоплює:

- систематизацію даних;
- інтерпретацію телеметричної інформації;
- геопросторову прив'язку і геометричну корекцію результатів зйомки;
- дешифрування отриманих матеріалів; фотограмметричні вимірювання й обробка їх результатів в ГІС-програмах для БПЛА;

- комплексний аналіз даних попередніх обстежень, результатів виконаних робіт, знімків ДЗЗ у фірмовому програмному продукті для аналізу зображень з БПЛА з можливістю під'єднання до мережі користувачів;

- створення звітних матеріалів в різних форматах, зокрема оцифрування знімків в програмах MapInfo, Panorama, AutoCAD, MicroStation V8i.

У процесі дистанційного моніторингу газо- і нафтопроводів можуть бути виявлені дефекти таких типів:

- ділянки відхилення глибини закладення трубопроводів від проектного значення з втратою стійкості (ділянки, що спливли, й оголені ділянки);
- ділянки виходу труб на поверхню;
- ділянки обводнення труби;
- місця розмивання і заболочування;
- негативні природні фактори гідрогеологічного генезису (карстові форми, підземні водотоки (перетоки), обводнені ділянки траси);
- техногенні порушення;
- розливи нафти, нафтопродуктів;
- місця несанкціонованих врізань;
- місця несанкціонованих дій третіх осіб на підконтрольних об'єктах;
- загоряння лісових масивів, торфовищ в районах прокладених трубопроводів;
- місця захаращеності вздовж трасового проїзду;
- місця несанкціонованого складування будівельних матеріалів і труб в охоронних зонах;
- місця перебування сторонніх осіб і транспортних засобів в охоронних зонах;

• пошкодження земляного покриття, заростання трас трубопроводів деревами і кущами, розмивання й оголення трубопроводів, ділянок трубопроводів з непроектною глибиною закладення.

Надійність, збереження і подальший розвиток трубопровідного транспорту і всієї газової галузі в сучасному світі є неможливими без застосування дистанційного моніторингу з використанням, зокрема, безпілотних літальних апаратів, які добре зарекомендували себе на світовому ринку геоінформаційних послуг та будуть потрібні повсюдно ще не одне десятиліття.

Розрізняють такі безпілотні літальні апарати:

- * безпілотні некеровані
- * безпілотні автоматичні
- * безпілотні дистанційно пілотовані літальні апарати (ДПЛА).

Нині в Україні немає прийнятої класифікації БПЛА. Для систематизації наявних систем БПЛА пропонується класифікація за такими взаємопов'язаними параметрами, як маса, час, дальність і висота польоту. Виділяють такі класи апаратів:

1. Мікро- і міні-БПЛА близького радіуса дії (злітна маса – до 5 кг, час польоту – близько години і дальність польотів – 25...40 км).
2. Легкі БПЛА малого радіуса дії (злітна маса – 50...100 кг, час польоту – кілька годин, дальність дії – 10...70 км).
3. Легкі БПЛА середнього радіуса дії (злітна маса – 50...100 кг, час польоту – кілька годин, дальність – 70...150 км).
4. Середні БПЛА (злітна маса – 100...300 кг, час – 10-12 год, дальність дії – 150...1000 км).
5. Середньоважкі БПЛА (злітна маса – 300...500 кг, час – 10-12 год, дальність дії – 70...300 км).
6. Важкі БПЛА середнього радіусу дії (злітна маса – понад 500 кг, час польоту – 24 год і більше, дальність дії – 70...300 км).
7. Важкі БПЛА великої тривалості польоту (злітна маса – понад 1500 кг, дальність – 1500 км).
8. Безпілотні бойові літаки (ББЛ) (злітна маса – понад 500 кг, дальність – 1500 км).

Для визначення координат і земної швидкості у сучасних БПЛА зазвичай використовують супутникові навігаційні приймачі (GPS або ГЛОНАСС). Кути орієнтації і перевантаження визначають з використанням гіроскопів й акселерометрів. Програмне забезпечення пишеться зазвичай мовами високого рівня, такі як Сі, Сі ++, Модула-2, Оберон SA або Ада95 [7].

Методами моніторингу місцевості, який ґрунтується на картографічній основі контрольованої території, зазвичай виконують шляхом візуального спостереження з подальшим нанесенням ситуації на картографічну карту. Недоліком такого методу є його великозатратність і наявність людського фактора, що призводить до значних похибок. Звичайні аерофотозйомки на малій висоті належать до складних технологічних процесів. Традиційно їх виконують за допомогою носіїв фотоапаратури, таких як літак (АН-2), літаки-лабораторії аерофотозйомки (АН-26, гелікоптери (МІ-6) та ін. [3].

Однак через високу вартість робіт, необхідність наявності близько розміщеного аеродрому й обмежену висоту польоту (понад 200 м) такі засоби є недоступними для виконання більшості завдань з моніторингу місцевості. Згадані недоліки підвищують вартість аерофотозйомки та знижують рентабельність. Тому використання БПЛА є виправданим тоді, коли треба швидко отримати точні дані за невисокої собівартості аерофотозйомки.

Нині, за даними UVS International (провідної міжнародної асоціації безпілотних систем), БПЛА виготовляють в 52 країнах світу, серед яких провідними є Росія і США [4].

На кожному сучасному БПЛА встановлюють фотокамеру, відеокамеру, тепловізор і гіростабілізовану телевізійну камеру, що дає змогу досліджувати екзогенні процеси (селі, зсуви, обвали та ін.).

За матеріалами аерофотозйомки отримують цифрову модель поверхні (ЦМП) у вигляді щільної хмари тривимірних точок. Точність такої моделі залежить від багатьох чинників, таких як якість вихідних знімків, наявність і точність визначення координат центрів фотографування, координат точок планово-висотного обґрунтування, і значною мірою визначається технічними характеристиками безпілотного літального апарата і встановленого на ньому обладнання [5].

Сучасні БПЛА серії Supercam характеризуються високою надійністю і стабільністю автоматичного польоту, дають змогу виконувати аерофотозйомку з високою роздільною здатністю протягом трьох-семи годин, а також закладені всі необхідні системи для отримання високоякісних знімків з точною геодезичною прив'язкою до місцевості і можливістю дистанційної зміни параметрів зйомки залежно від погодних умов.

Розглянемо Supercam S250, оснащений двочастотним приймачем, камерою Sony Alpha ILCE-6000 з матрицею 24 Мпікс, об'єктивом з $f = 20$ мм і з параметрами зйомки ISO800, витримка – 1/1000.

У разі аерофотознімання з різної висоти (150, 200 і 250 м) за двома маршрутами в різних напрямках поздовжнє перекриття становить 80%, поперечне - 60%; при побудові фотограмметричних мереж середні величини розбіжностей планового положення опорних точок не перевищують 5-10 см, контрольних точок - 5-15 см, що відповідає точності зйомки масштабу 1: 500; а середні величини розбіжностей висотного положення опорних точок у фотограмметричних мережах, отриманих з використанням центрів проекції і розпізнавальних знаків, розставлених через 250, 500, 1000 і 2300 м, не перевищують 5-7,5 см, контрольних - 5-10 см, що відповідає точності зйомки з перетином рельєфу 0,5 м [6].

Отже, описана продукція є відповідною точності, необхідної для створення топографічних планів масштабу 1: 500 з перерізом рельєфу 0,5 м.

Висновки. Головна позитивна особливість безпілотника – це відсутність на борту людини, завдяки чому, незалежно від складності й небезпечності виконуваної роботи, їй не загрожує небезпека. Уже тепер можна дійти висновку, що завдяки прискореним темпам розвитку науки і техніки не далекий той день, коли принципи дистанційного управління переважатимуть над звичайними

видами зйомок. Застосування БПЛА дає змогу скоротити терміни геодезичних робіт від одного місяця до одного дня, контролювати обсяги земляних робіт, отримувати точніші дані для відтворення маркшейдерських планів, контролювати, чи відповідає факт плану і технології будівництва.

Використання безпілотних апаратів дає можливість швидко отримати точні дані. Собівартість аерофотозйомки з БПЛА є на порядок нижчою, ніж застосування «малої» авіації, а щодо деяких проектів це, безперечно, є важливим аргументом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Чибіряков В.К. Застосування методів дистанційного контролю для моніторингу магістральних нафтопроводів і газопроводів / В.К. Чибіряков, В.С. Староверов, К.О. Нікітенко // Містобудування та територіальне планування. – 2007. – Вип.63. – С. 475-479.

2. *Перспективы развития беспилотных летательных аппаратов (БПЛА)*. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://modern.sawame.ru/eto-interesno/perspektivi-razvitiya-bespilotnich-letatelnych-apparatov-bpla/> – Назва з екрана. – Дата звернення 27.12.2017.

3. Романченко І. С. Моделі застосування інформаційно-телекомунікаційних технологій на основі безпілотних авіаційних комплексів у надзвичайних ситуаціях: монографія / І.С. Романченко, С.Л. Данилюк, С.М.Чумаченко [та ін.]. – Київ: НАУ, 2016. – 232 с.

4. *Побудова системи моніторингу місцевості на базі безпілотних літальних апаратів: зб. наук. праць* / Військовий Ін-т КНУ ім.Тараса Шевченка. – Вип. №50. – 2016. – С. 50.

5. *Беспилотные системы*. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://unmanned.ru/service/oilpipe.htm/>— Назва з екрана. – Дата звернення 03.01.2018.

6. *Беспилотники - Лазерная локация земли и леса*. [Електронний ресурс].- Режим доступу: http://www.laserlocation.ru/catalog/aircraft/UAV/?PAGEN_1=3/ – Назва з екрана.- Дата звернення 27.12.2017.

7. Павлушенко М. БПЛА: история, применение, угроза распространения и перспективы развития / М. Павлушенко, Г. Евстафьев, М. Макаренко. – М.:Права человека, 2005. – 612 с.

REFERENCES

1. Chibiryakov V.K., Staroverov V.S., Nikitenko K.A. (2007). Zastosuvannya metodiv dystancijnogo kontrolyu dlia monitoryngu magistralnyh naftoprovodiv i gazoprovodiv [Application of remote control methods for monitoring of main oil pipelines and gas pipelines]. *Inzhenerna heodeziia - Engineering geodesy*, 63, 475-479 [in Ukrainian].

2. *Perspektivy razvitiya bespelotnyh letatelnyh apparatov (BPLA)* [Prospects for the development of non-flying aircraft]. (n.d.) *modern.sawame.ru*. Retrieved from <http://modern.sawame.ru/eto-interesno/perspektivi-razvitiya-bespilotnich-letatelnych-apparatov-bpla/> [in Russian].

3. Romanchenko I.S., Danyluk S.L., Chumachenko S.M. (2016). *Modeli zastosuvannia informaciyno-telekomunikaciynih tehnologiy na osnovi bezpilotnyh aviacyynuh kompleksiv u nadzvychaiynyh situaciah: monografia [Modeling of the informational and telecommunication technologies on the basis of independent aviatric complexes in super-emergency situations: monograph]*. Kyiv: NAY [in Ukrainian].
4. Pobudova systemy monitoryngu miscevoli na bazi bespilotnyh letatelnyh apparatov (2016). [Pobudova sistemi montoryngu miscevoli on the basis of bezpilotnih litalnih aparativ] *Zbirnyk naukovykh prats. Viiskovy In-t KNU im. Tarasa Shevchenka – Collection of scientific works. Military Institute of Kyiv National Taras Shevchenko University*, 50, 50 [in Ukrainian].
5. Bepelotnie sistemy [Unmanned Systems]. (n.d.) *unmanned.ru*. Retrieved from <http://unmanned.ru/service/oilpipe.htm/> [in Russian].
6. Bepelotniki – Lazernia lokacia zemli i lesa [Drones - Laser location of land and forests]. (n.d.) *laserlocation.ru*. Retrieved from http://www.laserlocation.ru/catalog/aircraft/UAV/?PAGEN_1=3/ [in Russian].
7. Pavlushenko M., Evstafev G., Makarenko M. (2005). *BPLA: istoria, primenenie, ugroza rasprostronenia i perspektivy razvitiia [Unmanned: history, application, threat of proliferation and development prospects]*. Moscow: Human Rights [in Russian].

В.С. Староверов, К.А. Никитенко

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ТРУБОПРОВОДОВ ПО ПРИМЕНЕНИЮ БПЛА СЕРИИ SUPERCAM

В работе рассмотрены методы дистанционной диагностики трубопровода, их преимущества и недостатки. Проанализированы различные классы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), которые могут обеспечивать экономию при проведении ряда работ по сравнению с традиционными методами, а также повышать безопасность проведения работ, их качество.

Предложено использовать БПЛА серии Supercam, определена их точность и значительный вклад в проведение инженерно-геодезических изысканий для газотранспортной системы. Беспилотник для геодезии предоставляет специалистам данные, позволяющие разработать мониторинг трубопровода с учетом рационального использования и охраны окружающей среды, прогнозировать изменения природной среды участка под влиянием строительства и эксплуатации трубопровода.

Ключевые слова: *газопровод, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), дрон, дистанционная диагностика, цифровая модель поверхности (ЦМП).*

V. Staroverov, K. Nikitenko

EVALUATION OF ACCURACY OF DISTANCE DIAGNOSTICS OF THE PIPELINE WITH THE USE OF SUPERCAM SUPPLY SERIES

The paper considers the methods of remote diagnostics of the pipeline, their advantages and disadvantages. Different classes of unmanned aerial vehicles (UAVs) have been analyzed, which can provide savings when carrying out a number of works in comparison with traditional methods. In addition, they can enhance the safety of the work, their quality.

The use of Supercam series UAVs has been proposed, their accuracy and significant contribution to conducting engineering-geodetic surveys for the gas transmission system have been determined. In fact, a properly constructed work process, aerial photography using UAV will have an even greater advantage, not only in the speed of work, but also the quality and content of topographic plans will significantly increase. The UAV becomes a tool, a means of measurement similar to a tacheometer, a laser scanner. This will significantly reduce the percentage of marriage, which eliminates the need to re-enter the site and to refine or eliminate mistakes made in the survey, and this is a considerable saving of money for the organization. All this will allow the development of projects for monitoring the pipeline system to a new level.

Unmanned aerial vehicle for geodesy provides specialists with data that allows the development of monitoring of the pipeline, taking into account rational use and environmental protection, to predict changes in the natural environment of the site under the influence of construction and operation of the pipeline.

Keywords: gas pipeline, unmanned aerial vehicles (UAVs), drone, remote diagnostics, digital surface model (DSM).

Надійшла до редакції

12.03.2018

УДК 528.33, 528.31

К.Р. Третяк, д-р техн. наук, професор,**М.В. Дума**, аспірант,

кафедра вищої геодезії та астрономії

Національний університет «Львівська політехніка»

**ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ І ЗГУЩЕННЯ
ІНЖЕНЕРНИХ ГНСС-МЕРЕЖ**

Розроблено методику оптимізації конфігурації ГНСС-мереж із урахуванням схеми вимірювань та середньої квадратичної похибки визначення координат. Запропонована методика ґрунтується на алгоритмі послідовного вилучення спотворених вимірювань до досягнення необхідної точності ГНСС-мережі. Застосування запропонованої методики забезпечує покращення середньої квадратичної похибки визначення координат і зниження вартості виконання

© К.Р. Третяк, М.В. Дума, 2018

вимірювань. Встановлено, що подану методику можна застосувати для оптимізації ГНСС-мереж різної геометричної форми та схеми вимірювань.

Ключові слова: оптимізація, конфігурація, ГНСС-мережа, схема вимірювань, детермінант коваріаційної матриці.

Вступ. У процесі будівництва різноманітних інженерних споруд, що можуть становити підвищену небезпеку для людей і довкілля, створюють опорні геодезичні мережі, які використовують для супроводу будівництва та контролю за їх стійкістю. Широке використання супутникових технологій потребує розроблення нових методик й алгоритмів проектування й оптимізації ГНСС-мереж, які практично витіснили класичні лінійно-кутові побудови та частково – нівелювання. Процес проектування й оптимізації геодезичних мереж полягає в розробленні точних і надійних мереж, які в той же час будуть економічно ефективними [3].

Аналіз досліджень і публікацій. Оптимізацією геодезичних мереж займалось багато вітчизняних і зарубіжних вчених ще майже півстоліття тому, ця проблема залишається актуальною і в наш час. Автор статті [6] виокремлює чотири етапи проектування й оптимізації геодезичних мереж різного призначення.

Нульовий етап (Zero-Order Design) – вибір оптимальної системи відліку. На цьому етапі добирають оптимальну систему координат для мережі. Проте цей етап можна пропустити у проектуванні локальних мереж.

Перший етап (First-Order Design) – вибір оптимальної конфігурації мережі. На цьому етапі добирають оптимальну геометричну форму мережі, оптимальну кількість і розміщення геодезичних пунктів та схеми вимірювань.

Другий етап (Second-Order Design): вибір оптимальних ваг спостережень. На цьому етапі визначають, яка точність має бути досягнута. Основною характеристикою етапу є точність.

Третій етап (Third-Order Design) – покращення існуючої мережі шляхом додавання (або видалення) додаткових пунктів і спостережень.

Найбільш поширеним є перший етап оптимізації, оскільки він ґрунтується на виборі оптимальної геометричної форми та схеми вимірювань у мережі. Як приклад у статті [8] представлено методику оптимізації схеми вимірювань у мережі з 16 пунктів (виміряно 83 лінії та 104 кути). В результаті оптимізації встановлено, що завдяки зменшенню кількості ліній і кутів, які потрібно виміряти, на 66% та 55% відповідно, можна забезпечити необхідну точність визначення координат пунктів. Тимчасом у публікації [7] представлено методику, що полягає у підвищенні точності визначення координат шляхом додавання нових векторів у мережу із 25 ГНСС-пунктів (Аль Джаммас, Ірак).

У статті [9] представлено алгоритми оптимізації геометрії ГНСС-мережі Дністровської ГАЕС (Україна). У мережу з 43 пунктів додано чотири нових пункти і видалено з програми вимірювань стільки ж «слабких» пунктів. Оптимізацію виконували на основі значення детермінанта коваріаційної матриці. Подібний підхід використано й у роботах інших авторів [4; 5], у яких описано оптимізацію з використанням параметра надійності та значення детермінанта

коваріаційної матриці. В обох випадках обирають геометричну форму мережі, значення точності і надійності вимірювань в якій будуть найкращими. У роботі [3] викладено алгоритм оптимізації геодезичної мережі моніторингу, що включає перший другий і третій етапи. На першому етапі виконано заміну «слабких» точок мережі на жорсткі. На другому етапі збільшується кількість надлишкових вимірювань для точок, які розміщені по периметру мережі. А на третьому етапі для підвищення надійності додають зворотні вимірювання «слабких» ліній.

Проте в згаданих статтях не розглядаються питання сумісної оптимізації схеми вимірювань і конфігурації мережі із забезпеченням необхідної точності. Це питання залишається актуальним, оскільки іноді виникає потреба оптимізувати вже існуючу мережу (видалити слабкі пункти, замінити пошкоджені чи закласти нові) або створити нову.

Постановка завдання. У публікації представлено розроблену методику сумісної оптимізації геометрії розміщення пунктів відповідно до умови мінімальної кількості вимірів у мережі та досягнення допустимої похибки у визначенні координат пунктів. Методика ґрунтується на покроковому вилученні векторів зі схем вимірів та уточненні місцеположення пунктів.

Основна частина. *Розроблення методики оптимізації ГНСС-мережі.* Для супроводу будівництва, а в подальшому й моніторингу інженерних споруд створюють і згодом розширюють опорні геодезичні мережі. Для цих потреб широко використовують супутникові технології, що потребує розроблення нових методик й алгоритмів проектування та оптимізації ГНСС-мереж, які практично витіснили класичні методи.

Попередній проект мережі не має чітко визначених координат пунктів згущення, розміщення яких підлягає оптимізації, їх положення позначене зонами, в межах яких вони можуть знаходитись, а за вихідні взято координати центрів цих зон. Після вибору зон допустимого розміщення пунктів обирають значення середньої квадратичної похибки визначення координат «найслабшого» пункту, яке треба забезпечити.

Завдання цієї методики – отримати на виході мережу з оптимальною конфігурацією та схемою вимірювань, яка забезпечить необхідну точність визначення координат пункту за мінімальної тривалості виконання робіт, що призведе до зменшення їх вартості.

Для оптимізації ГНСС-мереж запропоновано універсальну методику, яка ґрунтується на почерговому вилученні зі схеми вимірювань векторів та пошуку оптимального положення для вибраних пунктів ГНСС-мережі. Процес вилучення має тривати до досягнення M_{xy} заданої межі або залишення мінімальної кількості векторів, потрібних для врівноваження, коли ця межа не встановлена. Для реалізації методики використано програмне забезпечення MathCAD15.

Відповідно до запропонованої методики в модельній ГНСС-мережі виконано послідовне вилучення векторів, які за результатами врівноваження мали найбільші значення поправок [1]:

$$v = A \cdot \Delta x + L, \quad (1)$$

де A – матриця коефіцієнтів рівнянь поправок; Δx – поправки у наближені значення шуканих параметрів, які визначають з урівноваження; L – матриця-вектор вільних членів.

Тобто припускалось, що вектори з максимальними поправками є векторами, які мають найбільші значення похибок [2].

Після кожного видалення виконують пошук оптимального положення для вибраних пунктів ГНСС-мережі, оптимальні координати яких можна визначити за залежністю:

$$\begin{aligned}x_i^I &= x_i + S_i^I \cdot \cos(\alpha_i); \\y_i^I &= y_i + S_i^I \cdot \sin(\alpha_i),\end{aligned}\tag{2}$$

де x_i та y_i – початкові координати обраних пунктів ГНСС-мережі; α_i – напрямок руху кожного пункту, при якому спостерігається покращення значень цільової функції; S_i^I – відстань, на яку треба перемістити пункт в напрямку α_i .

Напрямок руху кожного пункту визначають за градієнтним методом, що ґрунтується на пошуку приростів цільової функції [9]:

$$\operatorname{tg}(\alpha_i) = \frac{\nabla y_i}{\nabla x_i},\tag{3}$$

де $\nabla x_i = \frac{F(x_i + l, y_i) - F(x_i - l, y_i)}{2 \cdot l}$ – приріст цільової функції по осі X ;

$\nabla y_i = \frac{F(x_i, y_i + l) - F(x_i, y_i - l)}{2 \cdot l}$ – приріст цільової функції по осі Y ; l – стала

величина, на яку змінювали кожен координату (в цій методиці рекомендовано використовувати 1 м); $F(x, y)$ – цільова функція.

Оскільки по заданому напрямку пункт може переміщуватись до нескінченності, то завдання з оптимізації може втратити сенс, тому на процес оптимізації накладено обмеження (радіус зони, в межах якої можна переміщувати пункт, – R). У результаті цільова функція набуде вигляду:

$$\Phi(x, y) = F(x, y) + k \begin{cases} (S_i^I - R_i) \leq 0 \Rightarrow k = 0, \\ (S_i^I - R_i) > 0 \Rightarrow k = (S_i^I - R_i) \cdot m, \end{cases}\tag{4}$$

де m – стала величина, яка залежить від кількості пунктів у мережі.

Слід зазначити, що в пропонованій методиці як цільову функцію використано нормований детермінант коваріаційної матриці [2]:

$$D^{norm} = \sqrt[n]{|Q_x|},\tag{5}$$

де Q_x – коваріаційна матриця; n – кількість пунктів у мережі.

Відомо, що детермінант відповідає об'єму гіпереліпсоїда похибок, утвореного кореляційною матрицею, у зв'язку з цим мінімізація критерію є хорошим методом підвищення точності мережі, тому вирішено використати саме цей критерій.

Після кожної ітерації вилучення зі схеми вимірювань векторів та пошуку оптимального положення визначають середню квадратичну похибку визначення координат «найслабшого» пункту ГНСС-мережі за виразом:

$$M_{xy} = \mu \cdot \sqrt{2 \cdot Q_{x_i, i}}, \quad (6)$$

де $\mu = \sqrt{\frac{\sum v^2}{r}}$ – середня квадратична похибка одиниці ваги; $Q_{x_i, i}$ – відповідний діагональний елемент коваріаційної матриці; r – кількість надлишкових вимірів у мережі.

Процес вилучення виконують до досягнення M_{xy} заданої межі, якщо ця межа не встановлена, то до залишення мінімальної кількості векторів, потрібних для врівноваження $t_{\min} = \frac{3n-2}{2}$. Якщо кількість векторів буде меншою від $t_{\min}$, то координати як мінімум одного пункту будуть визначені безконтрольно.

Апробація розробленої методики оптимізації ГНСС-мережі. Для апробації розробленої методики використано модельну ГНСС-мережу з 14 пунктів (рис. 1), радіус зони допустимого розміщення пунктів згущення – 150 м, середня квадратична похибка визначення координат «найгіршого» пункту – 2 мм. Розміщення трьох пунктів мережі потребує уточнення, тобто їх положення буде змінюватись, решта пунктів взято за вихідні. Оптиміальні координати трьох обраних пунктів будуть відшукуватись в радіусі 150 м від їх вихідного положення межею.

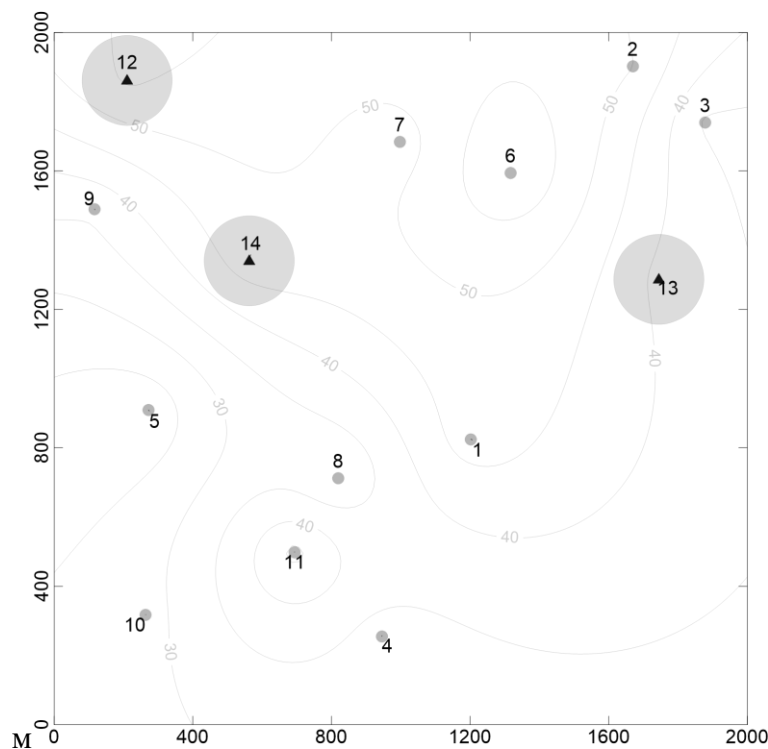


Рис. 1. Схема модельної ГНСС-мережі:

● - вихідні пункти мережі, ▲ - пункти згущення мережі, ● - зони допустимого розміщення пунктів згущення мережі

У даній мережі виконано також моделювання вимірювань всіх можливих ГНСС-векторів, їх кількість дорівнює $t_{\max} = \frac{n(n-1)}{2}$, де n - кількість пунктів

мережі. Слід зазначити, що для моделювання похибок вимірювань використано нормальний закон розподілу. На рис. 2 представлено гістограму розподілу модельних похибок ГНСС-вимірювань Δ .

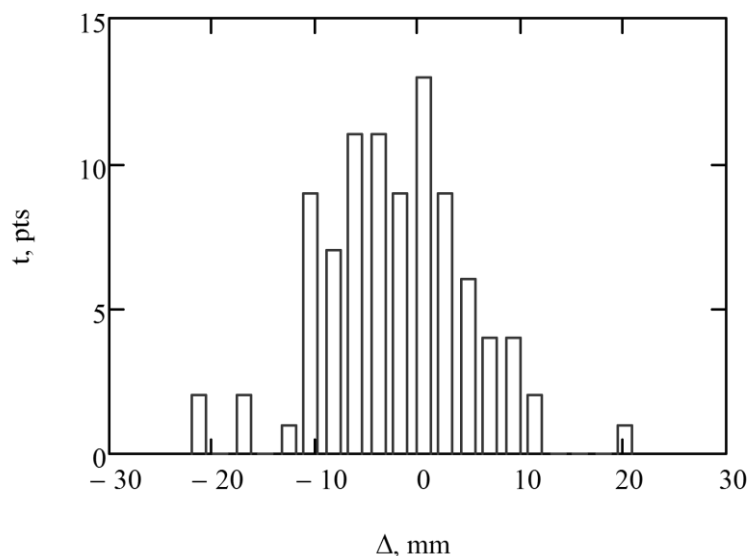


Рис. 2. Гістограма розподілу модельних похибок ГНСС-вимірювань Δ

На гістограмі видно, що більшість похибок – в межах, близьких до нуля, проте є похибки, значення яких суттєво перевищують загальний фон. Аналогічну картину зауважуємо і в реальних вимірах, що зумовлено незадовільною видимістю супутників, особливістю об'єкта або багатошляховістю сигналу.

На основі почергового вилучення зі схеми вимірювань векторів і пошуку оптимального положення побудовано графік зміни значень визначення координат «найслабшого» пункту (рис. 3).

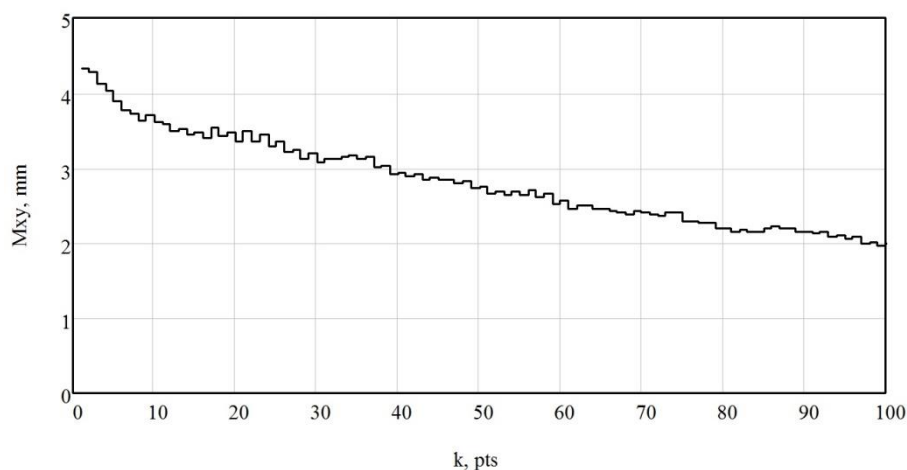


Рис. 3. Зміна значень середньої квадратичної похибки визначення координат «найслабшого» пункту при послідовному вилученні векторів із максимальними похибками

Як видно з графіків, значення середньої квадратичної похибки визначення координат «найслабшого» пункту M_{xy} на початку відсіювання векторів змінюється (зменшується) швидше, ніж в подальшому. Це пов'язано з тим, що

першими відсіюються вектори, які містять найбільші поправки [1]. Оскільки наприкінці вилучають вектори з мінімальними поправками, то й зміна M_{xy} є повільнішою, що чітко відображено на графіку.

Для даної модельної мережі значення середньої квадратичної похибки визначення координат «найслабшого» пункту встановлено 2,0 мм. Для того щоби забезпечити таку точність, треба виконати 100 ітерацій, тобто зі схеми вимірювань вилучити 50 векторів, а це 55%. Після оптимізації схема вимірювань в даній ГНСС-мережі набула вигляду, як на рис. 4, а значення M_{xy} зменшилось з 4,3 мм до 2,0 мм.

Після видалення векторів одержано мережу з новим, оптимальним розміщенням пунктів, відповідним цій схемі вимірювань. Переміщення пунктів з початкових положень зображено на рис. 4.

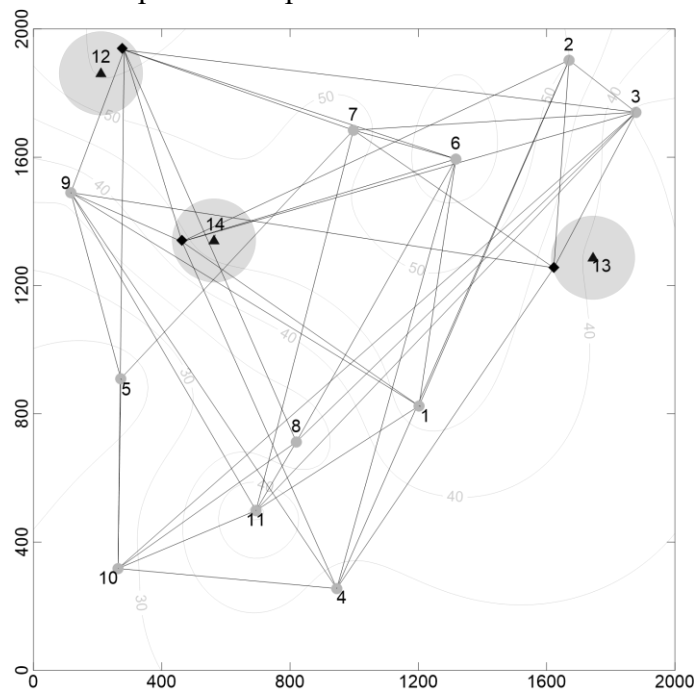


Рис. 4. Оптимальна геометрія та схема вимірювань в мережі після завершення процесу оптимізації (видалено 50 векторів)

○ - вихідні пункти мережі, △ - початкове положення пунктів згущення мережі,
◆ - оптимальне положення пунктів згущення мережі, ● - зони допустимого розміщення пунктів згущення мережі, — - необхідні вектори

Аналізуючи отримані результати, можна дійти висновку, що при кожній схемі вимірювань оптимальною буде інша конфігурація мережі, тому під час закладання нових пунктів чи проектування нових мереж варто звернути на це увагу. Виходячи з необхідної точності визначення координат, можна скласти схему вимірювань, на основі котрої закласти нові пункти, положення яких буде найкращим.

Методику випробувано на великій кількості ГНСС-мереж, виявлено, що її можна застосовувати для всіх типів локальних ГНСС-мереж.

Висновок. Розроблена методика оптимізації геометрії мережі з урахуванням

схеми вимірювань може бути застосовувана як під час розширення існуючих ГНСС-мереж, так і під час проектування нових. Вона полягає у вилученні векторів зі схеми вимірювань, у якій після кожного вилучення вектора було знайдене оптимальне положення обраних пунктів мережі та обраховане значення середньої квадратичної похибки визначення координат пункту. Це дає можливість виходячи із забезпечення необхідної точності дібрати схему вимірювань та визначити оптимальну конфігурацію мережі. Видалення векторів сприятиме зменшенню часу спостережень, отже, й зниженню вартості робіт, що є позитивним, а іноді й вирішальним фактором.

Описану методику апробовано на модельній ГНСС-мережі, що складалась з 14 пунктів, де були виміряні всі вектори. В результаті проведеної оптимізації для забезпечення значення середньої квадратичної похибки визначення координат пункту 2 мм з початкової схеми видалено 55% векторів та знайдено оптимальні положення обраних пунктів, що дало змогу суттєво зменшити час спостережень, отже, і вартість робіт.

Проте через видалення векторів зменшується кількість надлишкових вимірювань у мережі, що негативно впливає на жорсткість мережі, змінюється також і надійність, тому дослідження в цьому напрямі буде продовжено.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Третьак К. Р.* Апостеріорна оптимізація геодезичних мереж / К.Р Третьак // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2003. – С. 127 – 141.
2. *Третьак К. Р.* Розроблення методики розрахунку надійності активних геодезичних мереж / К.Р Третьак, І.Р. Савчин // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2013. – №77 – С. 122 – 126.
3. *Amiri-Simkooei A.* Strategy for designing geodetic network with high reliability and geometrical strength / A. Amiri-Simkooei // Journal of surveying engineering. – 2001. – P. 104-117.
4. *Amiri-Simkooei A.* Analytical first-order-design of geodetic networks / A. Amiri-Simkooei // Iranian journal of engineering sciences – 2007. – № 1(1). – P. 1-14.
5. *Berne J.* First-order design of geodetic networks using the simulated annealing method / J. Berne, S Baselga // Journal of Geodesy – 2004. – № 78. – P. 47-54.
6. *Grafarend E.* Optimization of geodetic networks / E. Grafarend// Bolletino di Geodesia a Science Affini. – 1974. – №33. – P. 351 – 406.
7. *Oday Y.M.* GNSS Baseline Configuration Based on First Order Design / Y.M. Oday, A.H. Zahraa, Y.A. Muayed // Journal of Engineering. – 2015. – № 21. – P. 100-114.
8. *Pachelski W.* Optimization of observation plan based on the stochastic characteristics of the geodetic network/ W. Pachelski, P. Post // Reports on Geodesy and Geoinformatics – 2016. – № 101. – P. 16-26.
9. *Savchyn I.R.* Dnister PSPP control GNSS network optimization/ I.R. Savchyn, M.V. Duma // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2016. – №84. – P. 17 – 24.

REFERENCES

1. Tretyak K.R. (2003). Aposteriorina optymizacija gheodezychnykh merezh [Posteriori optimization of geodetic networks]. *Suchasni dosjaghnennja gheodezychnoji nauky ta vyrobnytva – Modern geodesic advances of science and industry*, 127-141 [in Ukrainian].
2. Tretyak K.R., & Savchyn I.R. (2013). Rozroblennia metodyky rozrakhunku nadiinosti aktyvnykh gheodezychnykh merezh [Development of the method for calculating the reliability of active geodetic networks]. *Geodeziia, kartohrafia i aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and aerial photography* 77, 122 – 126 [in Ukrainian].
3. Amiri-Simkooei A. (2001). Strategy for designing geodetic network with high reliability and geometrical strength. *Journal of surveying engineering*, 104-117.
4. Amiri-Simkooei A. (2007). Analytical first-order-design of geodetic networks. *Iranian journal of engineering sciences*, 1(1), 1-14.
5. Berne J. & S Baselga (2004). First-order design of geodetic networks using the simulated annealing method. *Journal of Geodesy*, 78, 47-54.
6. Grafarend E. (1974). Optimization of geodetic networks. *Bolletino di Geodesia a Science Affini*, 33, 351 – 406.
7. Oday Y.M. & Zahraa A.H. & Muayed Y.A (2015). GNSS Baseline Configuration Based on First Order Design. *Journal of Engineering*, 21, 100-114.
8. Pachelski W. & Postek P. (2016). Optimization of observation plan based on the stochastic characteristics of the geodetic network. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 101, 16-26.
9. Savchyn I.R. & Duma M.V (2016). Dnister PSPP control GNSS network optimization. *Geodeziia, kartohrafia i aerofotoznimannia – Geodesy, cartography and aerial photography*, 84, 17 – 24.

К.Р. Третьяк, М.В. Дума

**ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СГУЩЕНИЕ
ИНЖЕНЕРНЫХ ГНСС-СЕТЕЙ**

Разработана методика оптимизации конфигурации ГНСС-сетей с учетом схемы измерений и средней квадратической погрешности определения координат. Предложенная методика основана на алгоритме последовательного удаления искаженных измерений до достижения требуемой точности ГНСС-сети. Использование предложенной методики обеспечивает улучшение средней квадратической погрешности определения координат и снижение стоимости выполнения измерений. Установлено, что представленную методику можно применить для оптимизации ГНСС-сетей различной геометрической формы и схемы измерений.

Ключевые слова: оптимизация, конфигурация, ГНСС-сеть, схема измерений, детерминант ковариационной матрицы.

OPTIMAL DESIGN AND THICKENING ENGINEERING GNSS-NETWORK

The methodology of optimization of GNSS networks configuration of with the consideration of the measurement scheme and the mean squared error of coordinates determination was developed. The proposed methodology is based on the algorithm of distorted vectors removal to achieve the required accuracy of the GNSS network. This methodology was tested on a model GNSS network with 14 points in which all the vectors were measured. As a result of the optimization, 55% of the vectors were removed from the initial scheme of the GNSS network and the optimal positions of the selected points were found to maintain the value of the mean square error of coordinate determination at 2 mm. That is, the use of the proposed methodology has improved the mean square error of coordinates determination and reduced the cost of measuring. It is established that the given methodology can be applied for optimization of GNSS networks with different geometric shapes and measurement schemes. It is known that the removal of vectors leads to a reduction in the time of observation, and as a consequence of a reduction in the cost of work, which is positive, and sometimes a decisive factor. However, removing vectors reduces the number of redundant measurements on the network, which adversely affects the network's hardness, and reliability also varies. Therefore, research in this direction will continue.

Keywords: optimization, configuration, GNSS network, measurement scheme, determinants of covariance matrix.

Надійшла до редакції

21.03.2018

УДК 528.48

*Ю.В. Медведский, канд. техн. наук., ас. кафедры инженерной геодезии
Киевский национальный университет строительства и архитектуры*

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕМЕТРИЧЕСКИХ ЦИФРОВЫХ КАМЕР

В работе рассмотрен подход к решению задачи геодезического мониторинга с использованием системы неметрических камер. Предложена технология выполнения работ, позволяющая определить изменение геометрических параметров сооружения под воздействием внешних факторов и прогнозировать их на заданный момент времени. В основу положен принцип относительных измерений, реализованный через нахождение смещения между парами снимков от неметрических камер. Смещение пары изображений предложено определять с помощью алгоритма фазовой корреляции, который обеспечивает высокую скорость решения и надежность получаемых

результатов. Подготовлен экспериментальный стенд и произведена серия измерений, имитирующих работу одного элемента оптической системы. Реализовано программное обеспечение по обработке серии изображений в среде программирования Matlab с использованием алгоритма фазовой корреляции. Выполнен анализ результатов эксперимента, который позволяет сделать вывод о возможности успешной реализации описанного метода с соблюдением требований к точности выполнения работ данного вида.

Ключевые слова: геодезический мониторинг, мониторинг сооружений, методы мониторинга, мониторинг высотных сооружений, видеоизмерительные методы, неметрические камеры.

Вступление. На фоне развития технологий производства материалов, автоматизации процессов строительства и роста стоимости земли в центральных районах крупных городов наблюдается тенденция возведения сооружений сложных геометрических форм и большой высотности. Это, во-первых, усложняет работы по обеспечению геодезического мониторинга вследствие создания специфической формы геодезического обоснования, применения различных видов геодезического оборудования на различных этапах его возведения, а во-вторых требует высокой частоты наблюдений вследствие обретения сооружением динамических свойств. Влияние таких внешних факторов, как ветровая нагрузка и солнечная радиация, приводят к колебаниям и кручениям сооружений, которые меняют свое значение в течении суток и могут вызывать смещение в десятки сантиметров [1]. Наиболее популярные системы геодезического мониторинга [2–5] подразумевают использование большого количества геодезического оборудования в комплексе с программным обеспечением, являются дорогостоящими системами, вследствие чего применяются при возведении уникальных объектов. В последнее время набирает популярность метод лазерного сканирования [6], но он имеет ограничение по высоте сооружения и возможной скорости получения мониторинговых значений. Недавно в России была опубликована докторская работа С. П. Буюкяна [7], в которой рассмотрено применение видеоизмерительной системы на основе неметрической видеокамеры для выполнения задачи геодезического мониторинга. Такой подход способен обеспечить получение данных с высокой частотой дискретизации при существенном упрощении самого процесса выполнения измерений. В силу малой освещенности данного подхода в отечественной и зарубежной литературе, а также наличия большого потенциала его применения возникла необходимость рассмотреть возможности решения задачи геодезического мониторинга высотных сооружений с применением неметрических камер.

Анализ исследований и публикаций. Разработка методик использования неметрических камер в задаче геодезического мониторинга на территории стран СНГ посвящены работы С.П. Буюкяна. После первой публикации на эту тему в 2002 году [8], докладов на конференциях и семинарах в 2016 году была оформлена диссертационная работа на эту тему [7]. В работе рассмотрена методика геодезического мониторинга при использовании видеоизмерительной

системы и применения метода видеоизмерений, который основан на преобразовании стандартного телевизионного видеосигнала из аналогового в цифровой вид с выделением координат контурных точек изображения наблюдаемого объекта в видеокадре. При построочном анализе видеопотока происходит определение центра контрольной марки, из разницы между циклами определяют её плановое смещение. Несмотря на достаточно подробное описание как метода, так и методик его применения для различного вида объектов строительства, вопрос применения в высотном строительстве, включая этапы возведения и эксплуатации, решен недостаточно полно. Задача расчета СКП определения смещения визирной цели решена неоднозначно, так как при описанных в работе технических характеристиках системы и рабочих расстояниях размер одного пикселя на изображении на порядок превышает заявленную СКП метода.

Вопросу использования неметрических камер в обеспечении геодезических работ отведено место в методике, разработанной ООО «Тектоплан» [9] при участии докторов и кандидатов наук из ОАО «ГСПИ», ФГУП ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко и МИИГАиК. Авторы методики представили описание видеогидростатичной системы, позволяющей определять наклон фундамента и неравномерность осадки. Такая система представляет собой систему уровней, расположенных на фундаменте сооружения с закрепленными на нем датчиками с камерой, получающей отраженное изображение системы светодиодов от поверхности жидкости. Смещения каждой характерной точки фундамента определяется через разность между первым и последующим изображением отражения жидкости, которое изменяется при изменении угла наклона. В силу использования жидкости в конструкции датчиков системы её применение ограничивается фундаментной частью сооружения.

В диссертационной работе Ю.Н. Раскаткина [10] рассмотрен метод определения крена сооружений башенного типа с использованием метода линейно-угловой засечки и затронут вопрос о возможности решения данной задачи путем обработки фотоизображений. Проведенные исследования показали, что метод обработки фотоизображений может с успехом применяться для определения смещений опорных узлов ферм на оголовках колонн. Он даёт практически те же самые результаты, что и полученные обычными способами, при этом отличается высокой производительностью и обеспечивает надежную безопасность работ.

В зарубежных источниках упоминания о использовании неметрических камер в строительстве сводятся к использованию датчиков неразрушаемого контроля для конструктивных элементов сооружения [2; 5].

Постановка задания. Целью работы является теоретическое обоснование возможности применения неметрической камеры для решения задачи геодезического мониторинга высотного сооружения и предварительное исследование точности элемента оптической мониторинговой системы на имитационном стенде.

Изложение основного материала. Геодезический мониторинг представляет собой комплекс мер по определению изменения геометрических

параметров и построения прогнозной модели состояний возводимого сооружения с точностью, позволяющей обеспечить его строительство и эксплуатацию.

Основными геометрическими параметрами, которые необходимо определять при мониторинге высотных сооружений, являются осадка, крен, прогиб и кручение (рис.1).

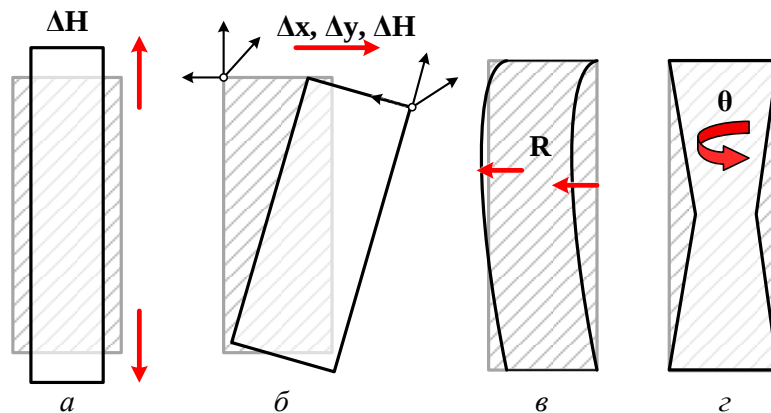


Рис.1. Деформации высотных зданий:

a – осадка; *б* – крен; *в* – прогиб; *г* – кручение

Определять эти параметры предложено через нахождение относительного смещения контрольных точек, расположенных по всей длине сооружения. Использование относительных измерений позволит не накапливать ошибки исходных данных и предыдущих этажей, что в свою очередь повысит результирующую точность определения значений параметров мониторинга.

Технология решения задачи геодезического мониторинга с использованием неметрических камер состоит из нескольких этапов:

1. Проектирование мест фиксации элементов оптической системы (ЭОС) мониторинга. На этом этапе определяют расстояния между ЭОС, исходя из их технических возможностей и геометрических параметров сооружения.

2. Определение относительно смещения между ЭОС. Используя алгоритм фазовой корреляции, определяют взаимный пространственный сдвиг между ЭОС.

3. Определение значений параметров мониторинга. Зная относительные смещения всех ЭОС, строят фактическую каркасную модель сооружения, которая сравнивается с проектной моделью возводимого сооружения.

4. Построение прогнозной модели. На основе фактической модели сооружения, природы ее изменения (значений параметров мониторинга) и динамических характеристик строят прогнозную модель сооружения на заданный момент времени. На основании полученных материалов моделируют пространственное положение монтажного горизонта на время выполнения геодезических разбивочных работ и дают оценку состояния сооружения в целом.

В статье будут подробнее рассмотрены особенности реализации первых двух этапов описанной методики и приведены результаты экспериментальных измерений элемента оптической системы.

1. Этап проектирования мест фиксации (ЭОС) мониторинга

Закрепление ЭОС предложено выполнить вдоль двух взаимно перпендикулярных плоскостей сооружения и его центральной оси, такая

конфігурація дозволит на етапі аналізу даних відділити ефект кручення від прогиба і крена (рис.2). Для спостереження за осадкою нижні датчики направляють на марки, закріплені на ряді стоячих спорудах. Група з трьох датчиків буде формувати площину, а зміна їх положення визначає її нахил і зсув.

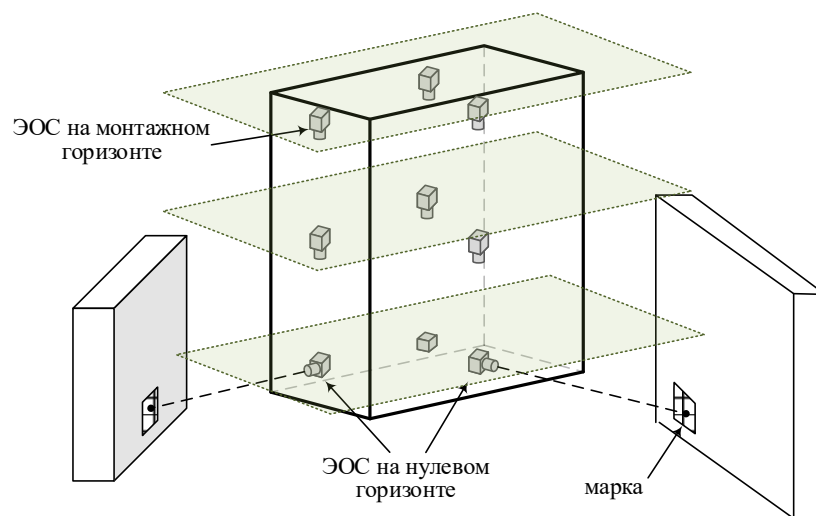


Рис.2. Схематическое представление мест крепления ЭОС

Для определения оптимального значения расстояния между датчиками изначально необходимо исходить из технических характеристик оптической системы. Рассмотрим классический вариант получения изображения на матрице камеры (рис.3)

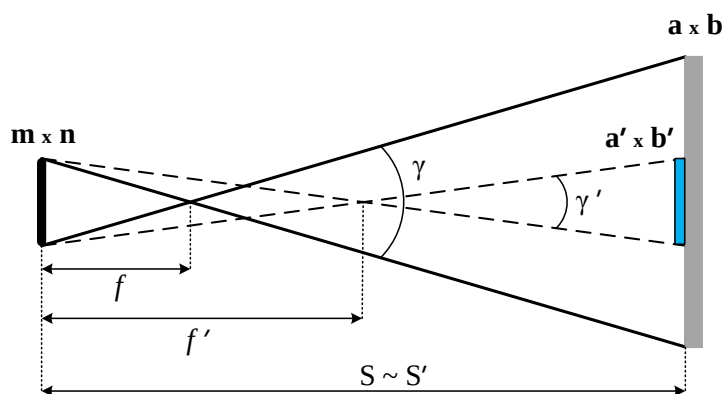


Рис.3. Схема оптической системы

В упрощенном виде видимая область местности размером $a \times b$ формируется на матрице размером $m \times n$, проходя через точку фокуса. Размер видимой области напрямую зависит от угла поля зрения объектива камеры γ и фокусного расстояния f и описывается математической зависимостью:

$$\gamma = 114,6 \cdot \arctg(21,622/(k \cdot f)), \quad (1)$$

где k – значение кропп фактора оптической системы камеры, f – значение фокусного расстояния (мм).

Использование такого параметра в работе с координатной системой снимка, который имеет прямоугольную форму вследствие стандартной

компоновки матрицы современных цифровых камер, будет некорректным. В результате будет искривлена геометрия изначально квадратного пикселя либо измениться его размер в случае применения усредненного значения разрешения матрицы. Нам необходимо перейти от угла поля зрения камеры к углу видимой области вдоль стороны снимка φ :

$$\varphi_a = \arctg(a/S), \quad \varphi_b = \arctg\left(\frac{b}{S}\right), \quad (2)$$

где a – размер видимой области изображения по оси a ; b – размер видимой области изображения по оси b ; S – расстояние от камеры до объекта съемки.

Используя такой подход, мы сохраним однозначность определения разрешающей способности камеры, которую обозначим через величину c и представим её в таком виде:

$$c = a/n = b/m, \quad (3)$$

где n и m – размеры матрицы камеры.

В подтверждение данных рассуждений проведено определение разрешающей способности камеры, используя формулы (1) и (2), необходимые параметры были получены из технических характеристик камеры и путем фотографирования калибровочного стенда с фиксированного расстояния. Результаты для камеры с $f = 420\text{мм}$, $k = 5,62$, расстояние до стенда $S = 1\text{ м}$ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение подхода к определению разрешающей способности

Параметр	о, "	Расстояние S , м	мм местности	пиксели матрицы	мм\пикс.
γ	5°52'24,86"	1	100	3240	0,032
		1	100	4320	0,024
		1	100	3780	0,027
φ_a	6°06'26,7"	1	80	3240	0,025
φ_b	4°34'26,1"	1	110	4320	0,025

Как и следовало ожидать, размер пикселя (разрешающая способность) при использовании угла γ по каждой из осей снимка принял различное значение, усредненное значение разрешение камеры увеличило размер пикселя.

Касаясь вопроса конструктивной особенности ЭОС, стоит обратить внимание на объединение камеры и марки, которая выполняет роль цели (рис.4).

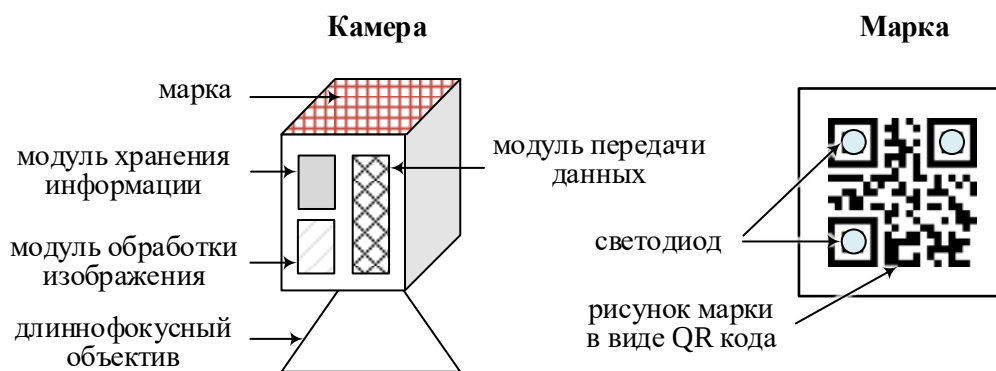


Рис.4. Конструкция ЭОС

Таким образом, камера помимо стандартных модулей должна содержать модуль для передачи данных, который позволит оперативно получить информацию в виде изображения цели со всех датчиков в короткий промежуток времени. Марку предложено выполнить с нанесением рисунка в виде QR-кода с монтажом светодиодов, это позволит заложить в нее необходимую информацию, например, имя и т.п., а также повысит её видимость в плохих погодных условиях

2. Этап определения относительно смещения между ЭОС

При возникновении в сооружении кренов, прогибов или кручений каждый ЭОС получит плановое и высотное смещение (рис.5). Определение смещения ЭОС в плане предложено выполнить с использованием алгоритма сравнения изображений, основанного на методе фазовой корреляции [11].

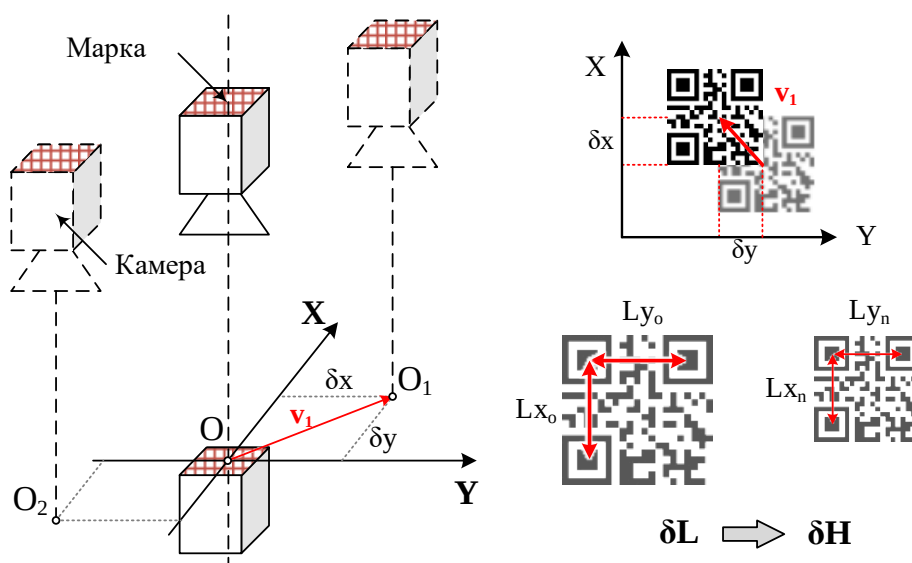


Рис.5. Схематическое определение смещения

Рассматривая пару изображений, одно из них примем за исходное и обозначим как А, второе - за искомое В.

Пусть $f_A(x, y)$ и $f_B(x, y)$ - изображения, одно из которых сдвинуто на (x_0, y_0) относительно другого, а $F_A(u, v)$ и $F_B(u, v)$ – их преобразования Фурье, тогда:

$$f_A(x, y) = f_B(x - x_0, y - y_0); \quad (4)$$

$$F_A(u, v) = e^{-j2\pi(ux_0 + vy_0)} F_B(u, v); \quad (5)$$

$$R = \frac{F_B(u, v) F_A^*(u, v)}{|F_B(u, v) F_A(u, v)|}, \quad (6)$$

где R – кросс-спектр, F_A^* – комплексно сопряженное F .

Вычисляя обратное преобразование Фурье кросс-спектра, получим импульс-функцию:

$$F^{-1}(R) = \delta(x - x_0, y - y_0). \quad (7)$$

Найдя максимум этой функции, определим искомое смещение. Теперь найдём угол вращения θ_0 при наличии смещения (x_0, y_0) , используя полярные координаты:

$$f_A(x, y) = f_B(x \cos \theta_0 - y \sin \theta_0 - x_0, x \sin \theta_0 + y \cos \theta_0 - y_0); \quad (8)$$

$$F_A(u, v) = e^{-j2\pi(ux_0+vy_0)} F_B(ucos\theta_0 - vsin\theta_0, usin\theta_0 + vcos\theta_0); \quad (9)$$

$$|F_A(\rho, \theta)| = |F_B(\rho, \theta - \theta_0)|. \quad (10)$$

Применяя этот алгоритм, можно определить не только смещение марки, но и непосредственное смещение самой камеры. Для этого первое изображение от камеры принимают за исходное (А), все последующие - за искомые (В) и выполняют поиск центра снимка (n_0, m_0) . Смещение каждого нового изображения относительно одного начального (δ_n, δ_m) и характеризует движение камеры (рис. 6, а). Стоит отметить что этот алгоритм имеет высокую устойчивость к частичным изменениям объектов в кадре, что дает возможность «не замечать» сдвиг при перемещении только марки.

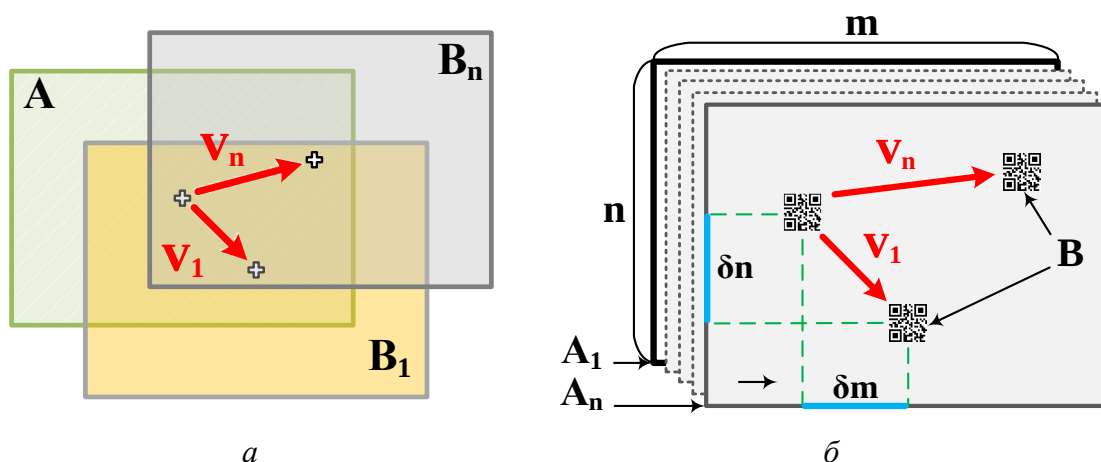


Рис. 6. Определения смещения марки и камеры ЭОС:

а – смещение камеры; б – смещение марки

Для поиска смещения марки за исходное изображение (А) принимают каждое новое изображение от камеры, а в качестве искомого (В) используют изображение самой марки. Таким образом, находя положение центра марки (n_0, m_0) на первом и последующих изображениях, возможно определить смещения марки в системе координат снимка (рис.6, б) Для получения данных, независимых от смещения самой камеры, переходят к смещению (n', m') относительно центра каждого кадра в серии.

В обоих случаях, зная разрешающую способность изображений, переходят от смещений в пикселях (δ_n, δ_m) к миллиметрам (δ_a, δ_b) .

3. Этап выполнения экспериментальных измерений

Для проверки приведенной теоретической выкладки было принято решение подготовить и выполнить экспериментальные измерения. Для этого была использована цифровая камера General Electric G100, характеристики которой упоминались ранее, цель в виде изображения QR-кода на твердой основе и испытательный столик, который позволил производить перемещение марки в горизонтальной плоскости на заданную величину $(\delta a_{пр}, \delta b_{пр})$. Была произведена имитация работы ЭОС на горизонтальной плоскости при нескольких расстояниях меду маркой и камерой (рис.7) Работы проводились в зимний период при наличии снежного покрова, высота положения камеры и цели над поверхностью составляла 15 см.

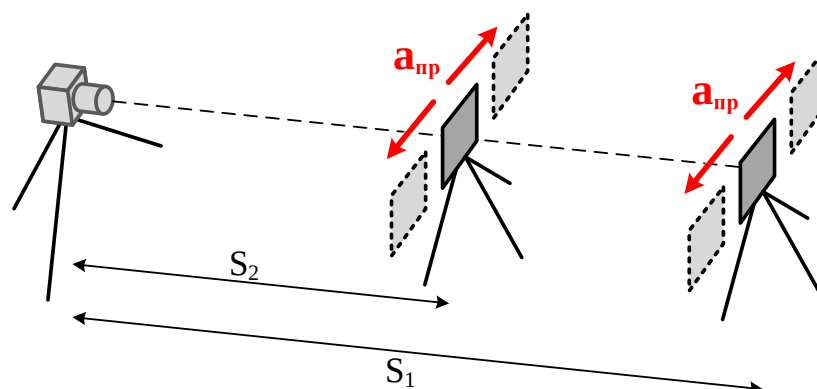


Рис.7. Схема проведения эксперимента

Обработка изображений с использованием алгоритма фазовой корреляции производилась в программной среде MatLab.

Сначала для каждого теста был определен параметр разрешающей способности изображения при заданном расстоянии до марки (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики кадра в серии экспериментов

№ теста	S, м	a, м	b, м	m, pix	n, pix	C, мм/pix	
Тест 1	33	3,50	2,62	4320	3240	0,81	0,81
Тест 2	25	2,64	1,98	4320	3240	0,61	0,61
Тест 3	17	1,86	1,39	4320	3240	0,43	0,43

Сначала была определена стабильность положения камеры во время проведения эксперимента. Как показали результаты, камера была неподвижна между сериями. Такой результат объясняется установкой камеры в автоматический серийный режим фиксации изображений на все время съемки. Учитывая аналогичность результатов между сериями, приводится одна таблица данных (табл. 3).

Таблица 3

Определение смещения камеры во время съемки

Пара изображений (A - B)	Координаты центра n-го изображения		Смещение камеры между циклами			
			Смещение камеры в пикселях		Смещение камеры в мм	
	n ₀	m ₀	δ _n	δ _m	δ _a	δ _b
1-1	2160	1620				
1-2	2160	1620	0	0	0	0
1-3	2160	1620	0	0	0	0

Во время определения смещения марки в качестве искомого изображения было использовано вырезанное из первого кадра изображение цели и аналогичного размера исходное изображение (рис.8).



Рис.8. Поиск центра марки на основе первого кадра и исходного изображения

В результате обработки серии изображений получены значения смещения марки, через разницу с ее фактическими смещениями во время измерений получена ошибка определения сдвига. Результаты по каждому эксперименту приведены в соответствующих таблицах (табл. 4 - 6).

Таблица 4

Определение сдвига марки при $S = 33$ м

Марка	Центр марки		Относительный центр марки		Сдвиг марки между циклами				Проектный сдвиг марки		Ошибка сдвига, мм	
	n_o	m_o	n'	m'	δn	δm	δa	δb	$\delta a_{пр}$	$\delta b_{пр}$	m_a	m_b
Из кадра	2159	1583	-1	-37	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0
	2158	1582	-2	-38	-1	-1	-0,8	-0,8	-1	0	0,2	-0,8
	2168	1580	8	-40	9	-3	7,3	-2,4	9	0	-1,7	-2,4
Исходная	2159	1583	-1	-37	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0
	2158	1582	-2	-38	-1	-1	-0,8	-0,8	-1	0	0,2	-0,8
	2167	1580	7	-40	8	-3	6,5	-2,4	9	0	-2,5	-2,4

Таблица 5

Определение сдвига марки при $S = 25$ м

Марка	Центр марки		Относительный центр марки		Сдвиг марки между циклами				Проектный сдвиг марки		Ошибка сдвига, мм	
	n_o	m_o	n'	m'	δn	δm	δa	δb	$\delta a_{пр}$	$\delta b_{пр}$	m_a	m_b
Из кадра	2210	1528	50	-92	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0
	2209	1529	49	-91	-1	1	-0,6	0,6	-1	0	0,4	0,6
	2195	1529	35	-91	-15	1	-9,2	0,6	-10	0	0,8	0,6
Исходная	2211	1528	51	-92	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0
	2210	1528	50	-92	-1	0	-0,6	0,0	-1	0	0,4	0,0
	2196	1529	36	-91	-15	1	-9,2	0,6	-10	0	0,8	0,6

Таблица 6

Определение сдвига марки при $S = 17$ м

Марка	Центр марки		Относительный центр марки		Сдвиг марки между циклами				Проектный сдвиг марки		Ошибка сдвига, мм	
	n_o	m_o	n'	m'	δn	δm	δa	δb	$\delta a_{пр}$	$\delta b_{пр}$	m_a	m_b
Из кадра	2151	1537	-9	-83	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0
	2148	1537	-12	-83	-3	0	-1,3	0,0	-1	0	-0,3	0,0
	2128	1535	-32	-85	-23	-2	-9,9	-0,9	-10	0	0,1	-0,9
Исходная	2151	1536	-9	-84	0	0	0,0	0,0	0	0	0,0	0,0
	2148	1537	-12	-83	-3	1	-1,3	0,4	-1	0	-0,3	0,4
	2127	1538	-33	-82	-24	2	-10,3	0,9	-10	0	-0,3	0,9

Для перехода к точности определения смещения с помощью ЭОС с применением алгоритма фазовой корреляции рассчитана СКП на основании ошибки определения сдвига марки. Результаты сведены в табл. 7.

Таблица 7

Ошибка определения смещения

№ теста	Расстояние S , м	C , мм\пикс.	m_a , мм	m_b , мм	Усредненное СКП, мм
Тест 1	33	0,81	1,07	1,01	1,04
Тест 2	25	0,61	0,33	0,31	0,32
Тест 3	17	0,43	0,17	0,52	0,35

Рассматривая вопрос определения необходимой точности измерений для решения задачи геодезического мониторинга высотных объектов, можно воспользоваться источником [12], в котором рассматривался этот вопрос и было принято решение исходить из требований обеспечения допустимого отклонения от вертикали при строительстве здания. Наиболее строго это требование определяется по формуле:

$$\delta = 0,167 \cdot H, \quad (11)$$

где H – высота здания в метрах.

Перейти к критерию точности геодезического мониторинга можно используя общепринятую формулу:

$$m = 0,2 \cdot \delta. \quad (12)$$

Расчет допустимой точности геодезического мониторинга и теоретической точности существующих методов будет логичным произвести не меньше, чем до высот уже существующих в мире сооружений. Полученные данные сведено в обобщенную таблицу (табл. 8).

Таблица 8

Зависимость точности метода геодезического мониторинга от высоты сооружения

	Высота сооружения								
	75	100	200	300	400	500	600	700	800
ЭОС через 18м	1,5	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0	12,0	14,0	16,0

Продолжение табл. 8

ЭОС через 26м	1,0	1,3	2,6	3,9	5,2	6,5	7,8	9,1	10,4
ЭОС через 34м	2,4	3,2	6,4	9,5	12,7	15,9	19,1	22,2	25,4
допуск	2,5	3,3	6,7	10,0	13,4	16,7	20,0	23,4	26,7

Расчет точности метода геодезического мониторинга с использованием неметрической камеры производился из расчета установки ЭОС по всей длине сооружения с шагом 18, 26 и 34 метра соответственно. Конечное значение ошибки рассчитывалось путем суммы ошибок всех ЭОС для заданного расстояния на основании полученных результатов экспериментов, соответственно при изменении оптической камеры или ее элементов величина ошибки измениться.

Для наглядности результаты допустимых ошибок при выполнении задачи геодезического мониторинга интерпретируем в виде графика линейной зависимости ошибки от высоты (рис. 9).

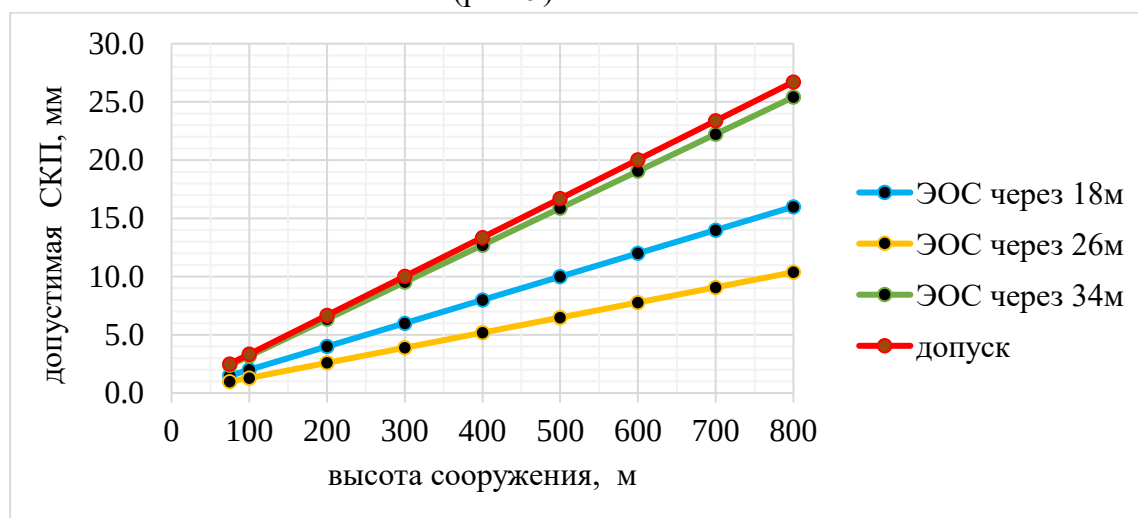


Рис. 9. Графическая интерпретация ошибок при мониторинге сооружений

Как видно по результатам эксперимента, метод с использованием неметрических камер в состоянии в полном объеме обеспечить необходимую точность выполнения геодезических работ по мониторингу высотных сооружений.

Учитывая возможности автоматизации этого вида работ, а также решение проблемы динамического получения параметров состояния сооружения, дальнейшее использование и развитие предлагаемого подхода представляется целесообразным.

Выводы. В представленной работе предложена технология выполнения работ по геодезическому мониторингу высотных сооружений с применением неметрических камер. Проведенное исследование точности элемента оптической мониторинговой системы на имитационном стенде подтвердило возможность обеспечения регламентируемой точности выполнения такого вида геодезических работ. Предложенный в работе метод определения смещения пары снимков на основе алгоритма фазовой корреляции показал устойчивый результат в сериях экспериментов. По результатам эксперимента определено наиболее эффективное

расстояние между камерой и целью, обеспечивающее двойной запас точности. В результате выполненной работы стала очевидной необходимость продолжения исследований в направлении влияния метода калибровки камеры, изменения освещенности цели и искажения оптического луча в результате рефракции на результирующую точность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Яценко А. И.* Геодезическое обеспечение возведения небоскреба Burj Dubai* / А. И. Яценко, О. В. Евстафьев // Геопрофи. — 2009. — Вып. 6. — С. 8–13.
2. *Cranenbroeck van J.* State of the art in structural geodetic monitoring solutions for hydro power plant / J. van Cranenbroeck // FIG Working Week 2011, Bridging the Gap between Cultures, Marrakech, Morocco, 18-22 May. — 2011. — FIG Working Week, 2011.— P. 18–22.
3. *Могильный С. Г.* Геодезический мониторинг и выверка технологического оборудования / С. Г. Могильный, В. Н. Ревуцкий, В. А. Пригаров, А.А. Шоломицкий // Геопрофиль. — 2009. — Вып. 3. — С. 12–19.
4. *Ягер Р.* Математические модели и техническая реализация GOCA – онлайн-системы геодезического мониторинга и оповещения о деформациях природных и техногенных объектов, основанная на точных спутниковых (GNSS) и наземных геодезических наблюдениях (LPS/LS) [Текст]: материалы VIII междунар. науч. конгр., 10-20 апреля 2012 г. Новосибирск / редкол.: Р. Ягер, П. Шпон, Т. Шайхутдинов (отв. ред.). — Новосибирск: СГГА, 2012. — С. 9–32.
5. *Bridge C.* Geodetic monitoring solutions for large infrastructure projects, health monitoring in Korea [Текст]: materials Malaysia Geospatial Forum 2012, 6-7 March 2012 / C. Bridge. — 2012.
6. *Вальков В. А.* Геодезические наблюдения за процессом деформирования высотных сооружений с использованием технологии наземного лазерного сканирования: дис., ... канд. техн. наук / В. А. Вальков — СПб., 2015. — 158 с.
7. *Буюкян С. П.* Разработка теоретических основ и методов решения специальных задач прикладной геодезии на основе видеоизмерений: дис., ... докт. техн. наук / С. П. Буюкян — М., 2016. — 168 с.
8. *Буюкян С. П.* Видеоизмерение в инженерной геодезии / С. П. Буюкян // Известия вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». — 2002. — Вып. 6. — С. 27–34.
9. *Фельдман В. Д.* Методика геодезического мониторинга технического состояния высотных и уникальных зданий и сооружений / В. Д. Фельдман, Г. Е. Рязанцев, В. А. Горелов [и др.]. — М.: ОАО «ЦПП», 2010. — 160 с.
10. *Sarvaiya J.* Image registration using log polar transform and phase correlation to recover higher scale / J. Sarvaiya, S. Patnaik, K. Kothari // Journal of Pattern Recognition Research. — 2012. — Issue 7, No. 1. — P. 90–105.
11. *Раскаткин Ю. Н.* Геометрические методы определения параметров пространственного положения и формы строительных конструкций: дис., ... канд. техн. наук / Ю. Н. Раскаткин — Н. Новгород, 2016. — 130 с.

12. Шульц Р. В. Опыт использования современных технологий в задачах геодезического мониторинга высотных зданий / Р.В. Шульц, А.А. Анненков, Н. В. Куличенко // Вестник МГСУ. — 2016. — № 1. — С. 80–93.

REFERENCES

1. Yashchenko, A.I., & Evstafiev, O. V. (2009). Geodezicheskoe obespechenie vozvedeniya небоскреба Burj Dubai* [Geodetic support of the construction of the skyscraper Burj Dubai *]. *Geoprofi - Geoprofi*, 6, 8–13 [in Russian].
2. Van Cranenbroeck, J. (2011). State of the Art in Structural Geodetic Monitoring Solutions for Hydro Power Plant. *FIG Working Week 2011, Bridging the Gap between Cultures*, Marrakech, Morocco, 18-22 May, (May 2011), 18–22.
3. Mogilny, S.G., Revutskiy, V.N., Prigarov, V.A., & Sholomitsky, A.A. (2009). Geodezicheskii monitoring i vyiverka tehnologicheskogo oborudovaniya [Geodetic monitoring and reconciliation of process equipment]. *Geoprofil - Geoprofile*, 3, 12–19 [in Russian].
4. Jager, R., Spohn, P., Shaykhutdinov, T., Gorokhova, T., & Yankush, A. (2012). Matematicheskie modeli i tehnikeskaya realizatsiya GOCA – onlayn- sistemy geodezicheskogo monitoringa i opovescheniya o deformatsiyah prirodnih i tehnogennyih ob'yektov, osnovannaya na tochnyih sputnikovyih (GNSS) i nazemnyih geodezicheskikh nablyudeniya (LPS/LS) [Mathematical models and technical implementation of GOCA - online systems for geodetic monitoring and warning of deformations of natural and man-made objects, based on precise satellite (GNSS) and ground-based geodetic observations (LPS / LS)]. *Interexpo Geo-Sibir - Interexpo GEO-Siberia*, 9–32 [in Russian].
5. Bridge, C. (2012). Geodetic Monitoring Solutions for large infrastructure projects, Health Monitoring in Korea.
6. Valkov V.A. (2015). Geodezicheskie nablyudeniya za protsessom deformirovaniya vyisotnyih sooruzheniy s ispolzovaniem tehnologii nazemnogo lazernogo skanirovaniya [Geodetic observations of the process of deformation of high-rise structures using the technology of ground-based laser scanning]. *Candidate's thesis*. St. Petersburg: SPMI [in Russian].
7. Buyukyan, S.P. (2016). Razrabotka teoreticheskikh osnov i metodov resheniya spetsialnykh zadach prikladnoy geodezii na osnove videoizmereniy [Development of theoretical bases and methods for solving special problems of applied geodesy based on video measurements]. *Doctor's thesis*. Moscow: AOGSPI [in Russian].
8. Buyukyan, SP (2002). Videoizmerenie v inzhernoy geodezii [Video measurement in engineering surveying]. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i Aerofotosyemka» - News of higher educational institutions «Surveying and aerial photography»*, 6, 27–34.
9. Feldman, V.D., Ryazantsev, G.E., Gorelov, V.A., Zhidkov, A.A., Buyukyan, S.P., Nazarov, I.A., & Nefedova, V. I. (2010). Metodika geodezicheskogo monitoringa tehnikeskogo sostoyaniya vyisotnykh i unikalnykh zdaniy i sooruzheniy [Technique of geodetic monitoring of technical condition of high-rise and unique buildings and structures]. *Metodicheskaya dokumentatsiya v stroitelstve - Methodical documentation in construction*. Moscow: OAO «TsPP» [in Russian].

10. Sarvaiya, J., Patnaik, S., & Kothari, K. (2012). Image Registration Using Log Polar Transform and Phase Correlation to Recover Higher Scale. *Journal of Pattern Recognition Research*, 7(1), 90–105. <https://doi.org/10.13176/11.355>.
11. Raskatkin, Y.N. (2016). *Geometricheskie metodyi opredeleniya parametrov prostranstvennogo polozheniya i formyi stroitelnykh konstruksiy* [Geometric methods for determining the parameters of the spatial position and shape of building structures]. *Candidate's thesis*. Nizhny Novgorod: NNGASU [in Russian].
12. Shul'ts R.V., Annenkov A.A., & Kulichenko N.V (2016). Opyt ispolzovaniya sovremennykh tekhnologiy v zadachakh geodezicheskogo monitoringa vysotnykh zdaniy [Experience of Using Modern Technologies in the Tasks of High-Rise Buildings Geodetic Monitoring]. *Vestnik MGSU - Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering*, no. 1, 80—93 [in Russian].

Ю.В. Медведський

ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ВИСОТНИХ СПОРУД З ВИКОРИСТАННЯМ НЕМЕТРИЧНИХ ЦИФРОВИХ КАМЕР

У роботі розглянуто підхід до вирішення задачі геодезичного моніторингу з використанням системи неметричних камер. Запропоновано технологію виконання робіт, що дає змогу визначити зміну геометричних параметрів споруди під впливом зовнішніх факторів і прогнозувати їх на заданий момент часу. В основу вимірів покладено принцип відносних вимірювань, реалізований через визначення зсуву між парами знімків від неметричних камер. Зсув пари зображень запропоновано визначати за допомогою алгоритму фазової кореляції, який забезпечує високу швидкість рішення і надійність одержуваних результатів. Підготовлено експериментальний стенд та проведено серію вимірювань, що імітують роботу одного елемента оптичної системи. Реалізовано програму з обробки серії зображень в середовищі програмування Matlab з використанням алгоритму фазової кореляції. Виконано аналіз результатів експерименту, який дозволяє зробити висновок про можливість успішної реалізації описаного методу з дотриманням вимог до точності виконання робіт цього виду.

Ключові слова: геодезичний моніторинг, моніторинг споруд, методи моніторингу, моніторинг висотних споруд, відеовимірювальні методи, неметричні камери.

Yu. Medvedskyi

THE SOLUTION OF THE PROBLEM OF GEODESIC MONITORING OF HIGH-RISE BUILDINGS WITH THE APPLICATION OF NON-METRIC DIGITAL CAMERAS

The approach to solving the problem of geodetic monitoring using a system of non-metric digital cameras is considered. The technology for performing works is proposed, which allows to determine the change in the geometric parameters of a

structure under the influence of external factors and to predict them at a given time. The measurement principle is based on the principle of relative measurements, realized through the displacement finding the displacement between pairs of images from non-metric digital cameras. The displacement of a pair of images is suggested to be determined using a phase correlation algorithm that ensures a high resolution speed and reliability of the results obtained. An experimental stand was prepared and a series of measurements simulating the operation of one element of the optical system was made. Implemented a program for processing a series of images in the programming environment of Matlab using the phase correlation algorithm. The results of the experiment are analyzed, which allows us to conclude that the described method can be successfully implemented in compliance with the requirements for the accuracy of this type of work.

Keywords: geodetic monitoring, monitoring of buildings, monitoring methods, monitoring of high-rise buildings, video measurement methods, non-metric digital cameras.

Надійшла до редакції

02.04.2018

УДК 528.48

К.О. Бурак, д-р техн. наук, професор,
В.М. Ковтун, асистент кафедри інженерної геодезії,
Л.І. Дорош, аспірант кафедри інженерної геодезії
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ДО ПИТАННЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД ТРИГОНОМЕТРИЧНИМ НІВЕЛЮВАННЯМ

У роботі розглянуто можливість використання одностороннього тригонометричного нівелювання під час спостереження за деформаціями споруд. Відзначено, що порівняно з геометричним нівелюванням тригонометричне має ряд переваг, наприклад, відсутність похибок, пов'язаних з встановленням рейок, що під час геометричного нівелювання є одним з основних джерел похибок. На основі результатів досліджень встановлено залежності СКП визначення перевищення між цими точками від віддалі і перепаду висот між станцією стояння і точками, що спостерігаються. Отримані залежності і графіки дають змогу виконати апіорну оцінку точності визначення деформацій споруд.

Наведено залежності і графіки, які дають змогу, задаючись необхідною СКП визначення перевищення та технічними характеристиками приладу, визначити допустимі значення довжини плеч.

Ключові слова: одностороннє тригонометричне нівелювання, СКП визначення перевищення, деформації споруд.

© К.О. Бурак, В.М. Ковтун,
Л.І. Дорош, 2018

Вступ. Під час експлуатації інженерних споруд необхідним є проведення високоточного моніторингу за їх деформаціями. В процесі спостережень важливо визначити швидкість і напрямок деформацій, тому суттєве значення має вибір оптимального методу моніторингу.

У час інтенсивного технічного прогресу на вибір методу моніторингу за деформаціями інженерних споруд звертають особливу увагу. Це зумовлено швидким розвитком високоточних приладів та програмних пакетів, які використовують для опрацювання результатів спостережень.

Згідно з чинною настановою [1] завдяки інструментальним спостереженням способами інженерної геодезії виконується моніторинг і спостереження за осіданнями будівель. Першочерговим завданням є забезпечення надійної роботи та перевірки експлуатаційної надійності об'єктів спостереження.

Методи і точність визначення осідань регламентуються нормативним документом [2] та новим проектом державного стандарту [4], які містять посилання на нормативний документ [3] ще 1989 р. видання. В усіх цих документах ідеться про можливість використання тригонометричного нівелювання, проте жодних вказівок щодо методики не наведено.

Аналіз досліджень і публікацій. У публікаціях [5; 6] автори зосередили увагу на причинах виникнення деформацій споруд та на необхідності виконання періодичного моніторингу за станом споруд. На думку авторів, представлено найперспективніші методи моніторингу, а саме: моніторинг конструкцій за допомогою оптико-електронних систем, геодезичний моніторинг за допомогою електронних тахеометрів, використання лазерного сканера для фотограмметричних методів вимірювання, геодезичний моніторинг методом супутникової геодезії з використанням системи навігації GNSS.

У роботі [7] розглянуто способи тригонометричного нівелювання електронним тахеометром. Для суттєвого зменшення впливу рефракції автором запропоновано виконувати тригонометричне нівелювання тахеометром, встановленим посередині між пунктами.

З практики відомо, що моніторинг фундаментів не завжди дає повну картину деформаційних процесів об'єктів, які спостерігають, ця проблема легко вирішується за допомогою наземного лазерного сканування (НЛС) [8; 9].

У статті [6] зазначено, що використання способів, які ґрунтуються на класичних методах геометричного нівелювання, для спостережень за осіданням точок, котрі знаходяться на значних відносно вихідних реперів висотах, є вкрай утрудненим, тому в таких випадках рекомендується використовувати тригонометричне нівелювання.

Постає проблема забезпечення необхідної точності проведених вимірювань. На думку авторів публікації [10], при використанні тригонометричного нівелювання найбільший вплив на точність має горизонтальне прокладення і вертикальний (зенітний) кут.

Постановка завдання. Наукове обґрунтування основних положень методики використання одностороннього тригонометричного нівелювання електронними тахеометрами.

Виклад основного матеріалу. Тригонометричне нівелювання порівняно з класичним геометричним нівелюванням під час спостереження за деформаціями будівель, споруд та технологічного обладнання має ряд переваг:

- можливість одним приладом визначати всі три координати деформаційного знака;
- можливість автоматичного наведення на деформаційні марки, використовуючи роботизований прилад;
- можливість спостережень за точками, розміщеними на значній висоті відносно вихідної реперної основи;
- можливість спостереження точок, розміщених у важкодоступних або навіть у недоступних місцях;
- відсутність рейок, похибки встановлення яких є одними з головних під час геометричного нівелювання, та пов'язане з цим значне зниження трудовитрат під час виконання робіт.

Тому заміна геометричного нівелювання на тригонометричне для забезпечення необхідної точності в багатьох випадках є виправданою.

При односторонньому нівелюванні [11; 12] на пунктах А і В встановлюють тахеометр і відбивач (рис. 1). Вимірюють похилу довжину лінії S , зенітний кут z , висоти відбивача (l) та приладу (i). Перевищення між пунктами обчислюють за формулою (1) [5]:

$$h_{AB} = D * \cos z + i - l + \frac{1-k}{2*R} (D * \sin z)^2, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт рефракції; D – горизонтальне прокладення; R – радіус Землі.

Відомо, що точність одностороннього тригонометричного нівелювання [10; 11] можна розрахувати за формулою:

$$m_h = \sqrt{(m_D \cos z / \sqrt{2})^2 + (D \sin z m_z / \rho \sqrt{2})^2 + (\frac{D}{2\sqrt{2}R} \sin z m_k)^2 + \frac{1}{2}(m_l^2 + m_v^2)}, \quad (2)$$

де m_D – СКП визначення віддалі; z – зенітний кут візування; m_z – СКП визначення зенітного кута; m_l – похибка визначення висоти приладу; m_v – похибка визначення висоти візирної марки; m_k – похибка визначення коефіцієнта рефракції.

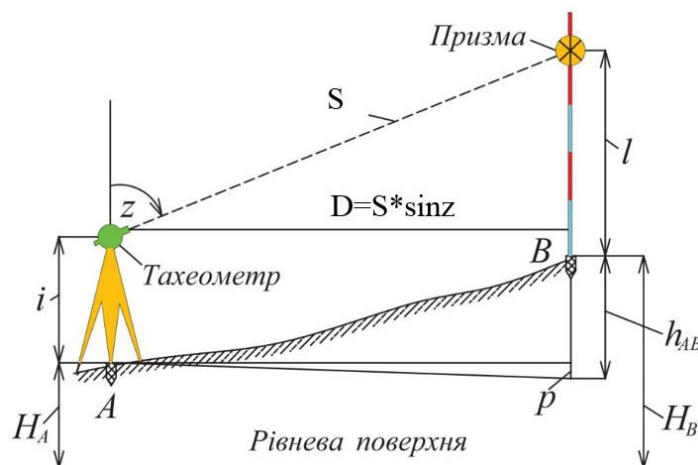


Рис. 1. Схема одностороннього тригонометричного нівелювання

Зважаючи на те, що завданням є визначення взаємного положення точок по висоті, а не визначення їх абсолютної висоти, то останніми двома членами (2) m_t та m_v можна знехтувати. Через близьке розміщення точок нівелювання вплив земної рефракції на них буде однаковим. З врахуванням цього отримаємо формулу для розрахунку точності тригонометричного нівелювання для розгляданого випадку:

$$m_h = \sqrt{(m_D \cos z / \sqrt{2})^2 + (D \sin z m_z / \rho \sqrt{2})^2}. \quad (3)$$

Завдяки простим геометричним перетворенням знаходимо:

$$\begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{h}{D}; \\ z &= 180 - \alpha; \\ \cos(180 - \alpha) &= -\cos \alpha; \\ \cos z &= -\frac{h}{D}, \end{aligned} \quad (4)$$

а також розраховуємо:

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \sqrt{1 - (\cos \alpha)^2}; \\ \sin(180 - \alpha) &= \sin \alpha; \\ \sin z &= \sin \alpha = \sqrt{1 - \left(-\frac{h}{D}\right)^2} = \sqrt{1 - \frac{h^2}{D^2}}. \end{aligned} \quad (5)$$

Підставивши вирази (4) і (5) у формулу (1), отримаємо формулу для розрахунку СКП визначення перевищення, задаючись значеннями віддалі та перепаду висоти:

$$m_h = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(D^2 - h^2) \frac{m_z^2}{\rho^2} + \frac{h^2 m_D^2}{D^2}}. \quad (6)$$

Звідси для максимально досяжної точності (за умови використання високоточних тахеометрів з кутовою точністю $m_z=1''$ та точністю вимірювання віддалі $m_D=2\text{мм}$) формулу (5) можна записати так:

$$m_h = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{\frac{D^2 - h^2}{\rho^2} + \frac{(0.002h)^2}{D^2}}. \quad (7)$$

А в разі використання електронного тахеометра з кутовою точністю $m_z=5''$:

$$m_h = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{25 \cdot \frac{(D^2 - h^2)}{\rho^2} + \frac{(0.002h)^2}{D^2}}. \quad (8)$$

Одержані формули (7) і (8) дають змогу побудувати графіки залежності СКП визначення висоти від перевищення та віддалі між станцією і візирною ціллю під час виконання одностороннього тригонометричного нівелювання електронним тахеометром (рис.2).

Через конструктивні особливості будови електронного тахеометра є певні обмеження для взяття вертикальних кутів, які для різних моделей приладів відрізняються, тому авторами накладено обмеження в розрахунках для значень горизонтального прокладення.

З практики відомо, що вертикальний кут, при якому можна виконувати вимірювання, знаходиться в межах $0^\circ - 40^\circ$, такий самий діапазон значень наведено в нормативному документі [2]. Отже, відповідно до технічних

характеристик сучасних електронних тахеометрів мінімальна віддаль візування дорівнює 1,5 м [13], тому:

$$\tan(90 - BK_{max}) = \frac{D}{h}; \quad (9)$$

$$h^2 + D^2 = S^2, \quad (10)$$

де BK_{max} – максимальне значення вертикального кута.

Підставивши вираз (10) у рівність (9) та виконавши ряд простих перетворень, отримаємо мінімальне значення $D=1,15$ м.

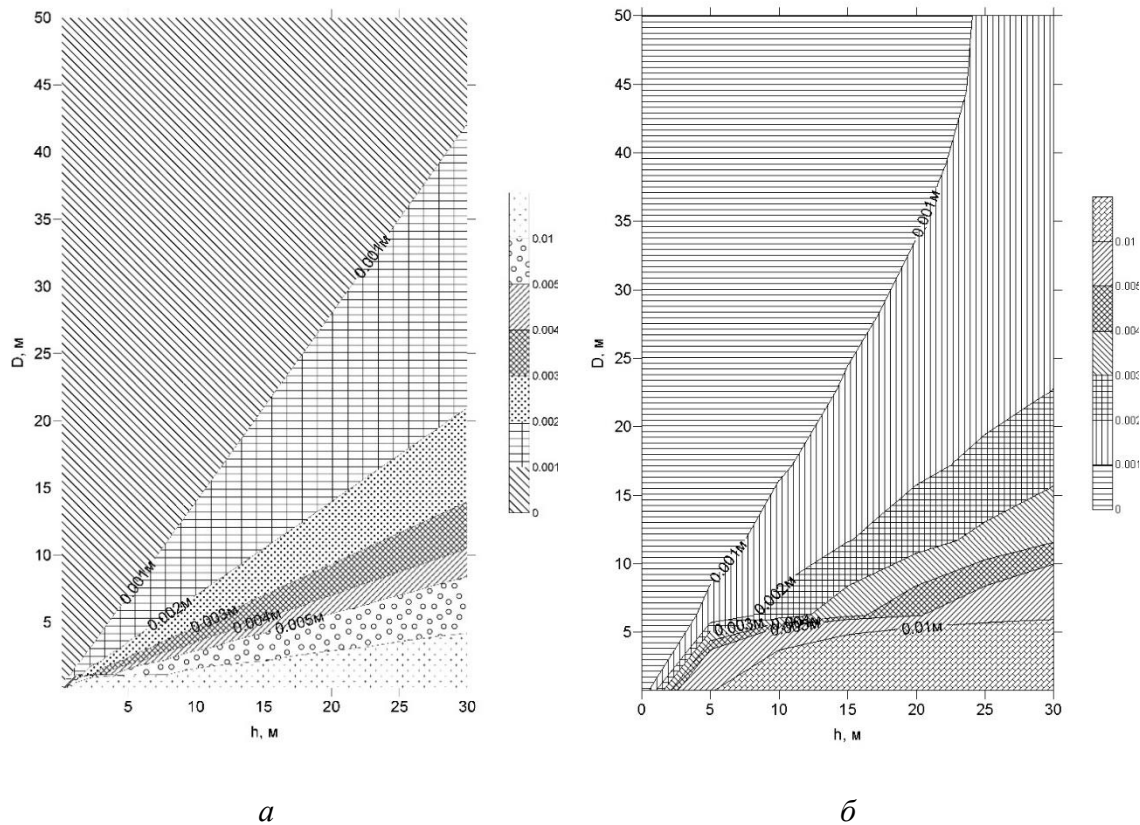


Рис. 2. Графік залежності СКП визначення висоти від перевищення та віддалі між станцією і візирною ціллю:

а – $m_z=1''$, $m_D=2$ мм; *б* – $m_z=5''$, $m_D=2$ мм

Графіки залежностей дозволяють отримати СКП визначення перевищень, отриманих одностороннім тригонометричним нівелюванням, задаючись значеннями точності приладу, різниці висоти станції стояння та точок спостереження, а також горизонтальними прокладеннями (довжиною плеч) до точок, що спостерігаються.

Для прикладу, проаналізувавши графік (рис. 2) (задаючись, наприклад, значеннями $D=25$ м, $h=8$ м, $m_D=2$ мм, $m_z=1''$), отримаємо апріорне значення СКП визначення перевищень навіть – 0,46 мм, а при використанні електронного тахеометра з кутовою точністю $m_z=5''$ і лінійною $m_D=2$ мм СКП буде становити 0,61 мм.

Попереднє визначення точності вимірювань вертикальних і горизонтальних деформацій виконують залежно від очікуваної величини переміщень, яка встановлюється проектом відповідно до табл. 1 [2].

Таблиця 1

Допустимі похибки вимірювання переміщень

Розрахункова величина переміщень, передбачених проектом, мм	Допустима похибка вимірювання переміщень для періоду, мм			
	будівельного		експлуатаційного	
	грунти			
	піщані	глинисті	піщані	глинисті
до 50	1	1	1	2
понад 50 до 100	2	1	1	2
понад 100до 250	5	2	1	2
понад 250до 500	10	5	2	5
понад500	15	10	5	10

На підставі визначеної згідно з табл. 1 допустимої похибки встановлюють клас точності вимірювання вертикальних і горизонтальних переміщень підвалин будинків і споруд відповідно до табл. 2.

Таблиця 2

Допустимі похибки вимірювання переміщень залежно від класу точності

Клас точності вимірювань	Допустима похибка при вимірюванні переміщень, мм	
	вертикальних	горизонтальних
I	1	2
II	2	5
III	5	10
IV	10	15

При відсутності даних про розрахункові величини деформацій основи підвалин клас точності вимірювання вертикальних і горизонтальних переміщень встановлюють так:

I – для будинків і споруд: унікальних, таких, що тривалий час (більш ніж 50 років) перебувають в експлуатації; тих, які зводять на скельних і напівскельних ґрунтах;

II – для будинків і споруд, які зводять на піщаних, глинистих й інших стискуваних ґрунтах;

III – для будинків і споруд, які зводять на насипних, просадкових, заторфованих й інших сильно стискуваних ґрунтах;

IV – для земляних споруд.

Оскільки будівельними нормами [2, табл. 2] регламентовано допустимі похибки вимірювання перевищень залежно від класу точності будівель, постає проблема у забезпеченні необхідної точності з використанням тригонометричного нівелювання, а саме вибору розміщення приладу з огляду на встановлені залежності СКП від D , h (6).

Після нескладних перетворень на основі виразу (6) одержимо формулу для підрахунку допустимої довжини плечей в тригонометричному нівелюванні залежно від потрібної точності вимірювання перевищення на станції m_h і перевищення між станцією і точкою візування h :

$$D = \sqrt{0.5 \cdot h^2 + m_h^2 \cdot \rho''^2 + 0.002 \cdot \sqrt{62500 \cdot h^4 + 250000 \cdot h^2 \cdot m_h^2 \cdot \rho''^2 - h^2 \cdot \rho''^2 + 250000 \cdot m_h^4 \cdot \rho''^4}} \quad (11)$$

Наприклад, для спостереження за деформаційними марками на висоті 8 м задаючись допустимою похибкою II класу точності мінімальна довжина плеча тригонометричного нівелювання має становити 24,343 м.

Висновки

1. У статті запропоновано формулу для розрахунку апріорної оцінки точності одностороннього тригонометричного нівелювання.
2. Встановлена можливість використання електронного тахеометра під час виконання монтажних робіт і спостережень за вертикальними зміщеннями точок.
3. Одержані результати дають змогу розробити оптимальну методику проведення спостережень за осіданням з використанням одностороннього тригонометричного нівелювання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *СОУ-Н МЕВ 40.1-00013741-79:2012*: Настанова з проведення спостережень за осіданням фундаментів, деформаціями конструкцій будівель і споруд та режимом підземних вод на майданчиках теплових та атомних електростанцій [Текст]. – Київ: Міненерговугілля, 2013. – Чинна від 27.03.2013.
2. *ДБН В.1.3.-2:2010*: Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві [Текст]. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. – 70 с. – Чинні від 01.09.2010.
3. *ГОСТ 24846-2012* Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200096134>.
4. *ДСТУ Б.В.2.1-XXX:201X*: Грунти. Методи і вимірювання деформацій основ будинків і споруд. – Київ: Мінрегіонбуд України, 201X. – 53 с.
5. *Бондаренко И. Н.* Современные методы мониторинга за техническим состоянием зданий и сооружений в процессе их эксплуатации [Электронный ресурс] / И.Н. Бондаренко, А.В. Мартынов, А.В. Мокасеєв // Наука и безопасность. – Режим доступа: <http://www.pamag.ru/prensa/sovremenniy-monitoring>.
6. *Баран П.І.* Геодезичні спостереження за деформаціями об'єкта “Укриття” на Чорнобильській АЕС / П.І. Баран, В.Г. Сушко, О.В. Холодюк, В.Я. Чорнокінь // Вісник геодезії та картографії. – 1999. – № 1. – С. 18–23.
7. *Марущак М.П.* Способи тригонометричного нівелювання електронним тахеометром / М.П. Марущак // Вісник геодезії та картографії. – 2010. – №6. – С. 11-14.
8. *Тревого І.* Аналіз технологічних можливостей сучасних наземних лазерних сканерів / І. Тревого, А. Баладнюк, А. Григораш // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2010. – Вип.1 (19). – С. 170-176.
9. *Войтенко С.* Визначення кренів інженерних споруд методом наземного лазерного сканування / С. Войтенко, Р. Шульц, М. Білоус // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2009. – Вип.1 (17). – С. 144-151.
10. *Баран П.І.* Топографія та інженерна геодезія: підруч. для студ. геодез. та негеодез. спец. ВНЗ / П.І. Баран, М.П. Марущак. – К.: Знання України, 2015. – 463 с.

11. Баран П.І. Тригонометричне нівелювання в інженерно-геодезичних роботах [Текст] / П.І. Баран, Ф.Ф. Соловйов, В.Я. Чорнокін. – Київ: Укргеодезкартографія, 1996. – 130 с.
12. Левчук Г. П. Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений / Г.П. Левчук, В.Е. Новак, Н.Н. Лебедев // Учебник для вузов. – М.: Недра, 1983. – 400 с.
13. Сайт ТЗОВ «ДОКА» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.doka-geo.com.ua/products/elektronnyj-taheometr-leica-tps1200/>.

REFERENCES

1. Nastanova z provedennia sposterezhen za osidanniam fundamentiv, deformatsiiamy konstruktsii budivel i sporud ta rezhymom pidzemnykh vod na maidanchykakh teplovykh ta atomnykh elektrostantsii [Instruction for observation the foundations settling, deformations of buildings and structures constructions and the regime of underground waters on the sites of thermal and nuclear power plants] [in Ukrainian]. (2012). *SOU-N MEV 40.1-00013741-79:2012 from 27th March 2013*. Kyiv: Minenerhovuhillia [in Ukrainian].
2. Systema zabezpechennia tochnosti heometrychnykh parametriv u budivnytstvi [System of ensuring of ageometrical parameters accuracy in construction geodesic works are in building]. (2010). *DBN V.1.3.-2:2010 from 1st September 2010*. Kyiv: Minrehionbud Ukraine [in Ukrainian].
3. HOST 24846-2012 «Hrunty. Metody yzmerenyia deformatsyi osnovanyi zdanyi y sooruzhenyi». [Soils. Methods of measuring the strains of structure and building bases]. docs.cntd.ru/document/1200096134. Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/1200096134/> [in Russian].
4. Hrunty. Metody i vymiriuvannia deformatsii osnov budynkiv i sporud [Soils. Measuring methods of strains of structures and buildings bases].(20Kh). *DSTU B.V.2.1-XXX:201X from XX.XX.201X*. Kyiv: Minrehionbud Ukraine [in Ukrainian].
5. Bondarenko Y. N., & Martynov A. V., & Mokaseev A. V. (2010). Sovremennyye metody monitorynga za tekhnicheskym sostoianiem zdanyi y sooruzheniy v protsesse ykh ekspluatatsyy [Modern methods of monitoring the technical condition of buildings and structures during their operation]. *Nauka i bezopasnost – science and safety*. Retrieved from <http://www.pamag.ru/pressa/sovremenniy-monitoring/> [in Russian].
6. Baran P.I., & Sushko V. H., & Kholodiuk O. V., & Chornokin V. Ya. (1999). Heodezychni sposterezhennia za deformatsiiamy obiekta “Ukryttia” na Chornobylskii AES [Geodetic observation of deformations of the "Ukryttia" object at the Chernobyl nuclear power plant]. *Visnyk heodezii ta kartohrafii – Journal of Geodesy and Cartography*,1, 18–23 [in Ukrainian].
7. Marushchak M.P. (2010). Sposoby tryhonometrychnoho niveliuvannia elektronnyim takheometrom [Methods of trigonometric leveling with an electronic tacheometer]. *Visnyk heodezii ta kartohrafii – Journal of Geodesy and Cartography* 6, 11-14 [in Ukrainian].
8. Trevoho I., & Baladniuk A., & Hryhorash A. (2010). Analiz tekhnolohichnykh mozhlyvostei suchasnykh nazemnykh lazernykh skaneriv [Analysis of technological capabilities of modern ground laser scanners]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi*

nauky ta vyrobnytstva – Modern achievements of geodesic science and production, 1 (19), 170-176 [in Ukrainian].

9. Voitenko S., & Shults R., & Bilous M. (2009). Vyznachennia kreniv inzhenernykh sporud metodom nazemnoho lazernoho skanuvannia [Determination of engineering structures rolls by ground laser scanning method]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Modern achievements of geodesic science and production*, 1 (17), 144-151 [in Ukrainian].

10. Baran P.I., & Marushchak M.P. (2015). *Topohrafiia ta inzhenerna heodeziia* [Topography and engineering geodesy]. Kyiv: Znannia Ukrainy [in Ukrainian].

11. Baran P.I., & Soloviov F.F., & Chornokon V.Ia. (1996). *Tryhonometrychne niveliuvannia v inzhenerno-heodezychnykh robotakh* [Trigonometric leveling in the engineering and geodetic works]. Kyiv: Ukrgeodez cartography [in Ukrainian].

12. Levchuk H. P., & Novak V. E., & Lebedev N. N. (1983). *Prykladnaia heodeziia. Heodezycheskye raboty pry yzyskanyakh y stroytelstve ynzhenerykh sooruzhenyi*. [Applied geodesy. Geodesic work in the exploration and construction of engineering structures]. Moskva: Nedra [in Russian].

13. Sait TzOV «DOKA» [Site of LLC «DOKA»]. doka-geo.com.ua/ . Retrieved from <http://www.doka-geo.com.ua/products/elektronnyj-taheometr-leica-tps1200/> [in Ukrainian].

К.О. Бурак, В.М.Ковтун, Л.И.Дорош

**К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ
СООРУЖЕНИЙ ТРИГОНОМЕТРИЧЕСКИМ НИВЕЛИРОВАНИЕМ**

В работе рассмотрена возможность использования одностороннего тригонометрического нивелирования при наблюдениях за деформациями сооружений. Отмечается, что в сравнении с геометрическим нивелированием тригонометрическое имеет даже ряд преимуществ, например, отсутствие ошибок, связанных с установлением рельсов, что при геометрическом нивелировании является одним из основных источников погрешностей. На основе проведенных исследований были установлены зависимости СКП определения превышения между этими точками от расстояния и перепада высот между станцией стояния и наблюдаемыми точками. Полученные зависимости и графики позволяют провести априорную оценку точности определения деформаций сооружений.

Приведены зависимости и графики, которые позволяют, задаваясь необходимой СКП определения превышения и техническими характеристиками прибора, определить допустимые значения длины плечей.

Ключевые слова: одностороннее тригонометрическое нивелирование, СКП определения превышения, деформации сооружений.

TO THE QUESTION OF DEFINING THE DEFORMATION OF ENGINEERING STRUCTURES BY TRIGONOMETRIC LEVELING

In this paper we consider the possibility of using one-sided trigonometric leveling in observations of structure deformations. It is noted that in comparison with geometric leveling trigonometric has even a number of advantages. For example, no errors occur during the installation of rails, which is one of the main sources of errors at geometric leveling. On the basis of conducted researches the dependencies of the RMS error definition of the excess between these points, from distance and difference of heights between the standing station and points that are observed, were established. The obtained dependencies and graphs allow us to conduct a priori assessment of the accuracy of determination of the structure deformations.

The authors point out dependencies and graphs that allow, by asking the necessary RMS error definition of the excess and technical characteristics of the device, to determine the allowable values of the required length.

Key words: *one-sided trigonometric leveling, RMS error definition of the excess, structure deformations.*

Надійшла до редакції

13.04.2018

УДК 528.48

Р.В. Шульц, *д-р техн. наук, професор,*

А.М. Хайлак, *аспірант,*

кафедра інженерної геодезії,

Київський національний університет будівництва і архітектури

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ГРУПОВОГО ВРАХУВАННЯ АРГУМЕНТІВ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ВЕРТИКАЛЬНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ТОЧОК НА ЗСУВАХ

У роботі наведено практичні результати застосування методу групового врахування аргументів до результатів геодезичних спостережень за вертикальними переміщеннями деформаційних знаків на зсувах. Для дослідження використано результати спостережень у відкритому доступі, на зсуві Граденбах, що розташований в Австрійських Альпах. У роботі наведено короткий опис зсуву та системи моніторингу на ньому, що створена науковою групою з Технічного університету Грацу (Австрія). Враховуючий комплексність зсувного процесу, встановлено, що традиційні методи прогнозування (поліноміальні, експоненціальні, тригонометричні та інші моделі) у випадку зсувних процесів є неефективними. Наведено основні положення методу групового врахування аргументів та комбінаторного алгоритму цього методу. Для створення прогнозної моделі було використане програмне забезпечення

GMDH Shell. За даними моніторингу побудовано прогнозну модель, яку порівняно з результатами спостережень методом оберненого прогнозування. Одночасно для підтвердження ефективності обраного методу було виконане прогнозування з використанням класичних моделей. Результати дослідження підтвердили високу ефективність методу групового врахування аргументів та його перевагу над іншими відомими методами прогнозування.

Ключові слова: зсув, прогнозування, метод групового врахування аргументів, комбінаторний алгоритм, вертикальні переміщення.

Вступ. Прогнозування зсувних процесів є вкрай відповідальним завданням, основною метою якого – запобігання виникненню раптових обвалів на зсувах. Водночас складність зсувних процесів, особливо на великих зсувах, не дозволяє використовувати прості математичні моделі прогнозування. Сучасне уявлення про зсувні процеси відносить зсуви [5] та процеси на них до категорії, близької до землетрусів, прогнозування яких, як відомо, є поки що завданням без відповіді. Будь-який зсувний процес характеризується наявністю цілого ряду факторів, які впливають на його перебіг. До найбільш характерних та впливових факторів відносять геологію зсуву (геологічний склад, характер поверхні ковзання та її геометрія), метеорологічні (температурний режим, кількість та інтенсивність опадів), геометричні (об'єм зсуву, геометрія поверхні ковзання, глибина зсуву та ін.). За наявності такої кількості факторів для прогнозування необхідно використовувати або фізичні моделі з величезною кількістю параметрів, або геометричні моделі, які дають змогу спрогнозувати переміщення тільки за результатами геодезичного моніторингу. В останньому випадку – звичайні математичні моделі (поліноміальні, прискорень). Звичайно, що така картина є ідеальною, отже, для прогнозування необхідно використовувати сучасні математичні алгоритми, що базуються, зокрема, на теорії нейронних мереж та методу групового врахування аргументів. Саме метод групового аналізу аргументів пропонується дослідити у представлений роботі.

Аналіз досліджень і публікацій. Враховуючи інформацію, викладену у вступній частині, немає необхідності аналізувати традиційні методи прогнозування переміщень зсувів за результатами геодезичного моніторингу. У 2001 році робочою групою 6.1 міжнародної федерації геодезистів (FIG) опубліковано доповідь, в якій викладено сучасний погляд на моделювання переміщень. Вже на той час автори розділили моделі прогнозування на дві категорії: описові і вхід-вихід, або причина-наслідок [5]. В рамках такого розподілу визначено конгруентні, статичні, кінематичні та динамічні моделі. За умови, що ми знаємо вихідні навантаження, є можливість побудувати статичну або динамічну модель. Проте це не завжди може бути реалізоване, особливо у випадку зсувів. Тож єдиним придатним варіантом є побудова кінематичної моделі, в якій переміщення представлені як функція часу, а не навантажень. Водночас питання деформаційної моделі пов'язане з питанням її ідентифікації [16]. Загалом ідентифікація моделі може бути здійснена параметричним і непараметричним шляхом. Однак знову ж таки параметрична ідентифікація можлива за умови, що ми знаємо фізичну модель, тобто знаємо

сили, що діють на об'єкт моніторингу. В усіх інших випадках ми користуємося непараметричною ідентифікацією, класичним випадком якої є регресійний аналіз. Аналізуючи сучасні підходи до прогнозування результатів геодезичного моніторингу відмітимо, що у випадку зсувів у більшості випадків ми маємо справу з непараметричною ідентифікацією з подальшою побудовою кінематичних моделей [11]. Добре зарекомендували себе моделі, побудовані із використанням алгоритму фільтра Калмана [1; 4; 8]. Причому модель фільтра Калмана може бути використана в обох випадках – при параметричній та непараметричній ідентифікації моделей. Сучасними моделями, що недостатньо досліджені, є моделі, побудовані з використанням нейронних мереж [3; 6; 10; 12], методу аналізу сингулярного спектра [7] та теорії випадкових функцій [16-18]. Можливості цих методів досліджено не в повному обсязі. Кожен з них має свої переваги та недоліки. В середині 70-х років XX сторіччя українським вченим О.Г. Івахненком теоретично обґрунтовано та доведено до практичної математичної реалізації метод групового врахування аргументів (МГВА) [14]. Цей метод поєднує в собі всі переваги відомих методів прогнозування і вже тривалий час використовується для вирішення прикладних наукових завдань [13; 15]. Через дуже високу складність обчислювального процесу МГВА почав постійно застосовуватись тільки з появою потужних обчислювальних засобів, оскільки у спрощеному вигляді базова ідея методу полягає у переборі всіх можливих моделей з оцінюванням параметрів цих моделей на кожному етапі і формуванням остаточної моделі як суми моделей, що забезпечують певний оптимальний критерій. При цьому отримана модель не є простою суперпозицією багатьох моделей. Важливо відмітити, що до аналізу результатів геодезичного моніторингу МГВА до теперішнього часу не застосовувався.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження можливостей методу групового врахування аргументів для прогнозування вертикальних переміщень точок під час виконання геодезичного моніторингу зсувів.

Виклад основного матеріалу. Ідея використання МГВА для аналізу та прогнозування результатів геодезичного моніторингу на зсувах виникла завдяки наявності у відкритому доступі даних тривалих спостережень за деформаційними знаками на зсуві Граденбах в Австрійських Альпах. Систему моніторингу розроблено колективом вчених з Технічного університету Граца (Австрія). У роботах [2; 9] наведено детальний опис системи моніторингу, далі ми представимо лише основний склад системи та результати її роботи.

В альпійському регіоні природні катастрофи, спричинені зсувною активністю, є дуже частим явищем. Для запобігання масштабним раптовим зсувам була встановлена система моніторингу, за допомогою якої визначались як переміщення зсуву, так і фактори, що спричиняють ці переміщення. Система моніторингу на зсуві Граденбах складається з трьох компонентів:

- геодезичного;
- сейсмічного;
- кліматичного/гідрологічного.

Геодезичний компонент реалізовано через розміщення мережі з п'яти ГНСС-станцій, на яких періодично виконується визначення координат. На рис. 1. представлено зображення зсуву [2; 9].

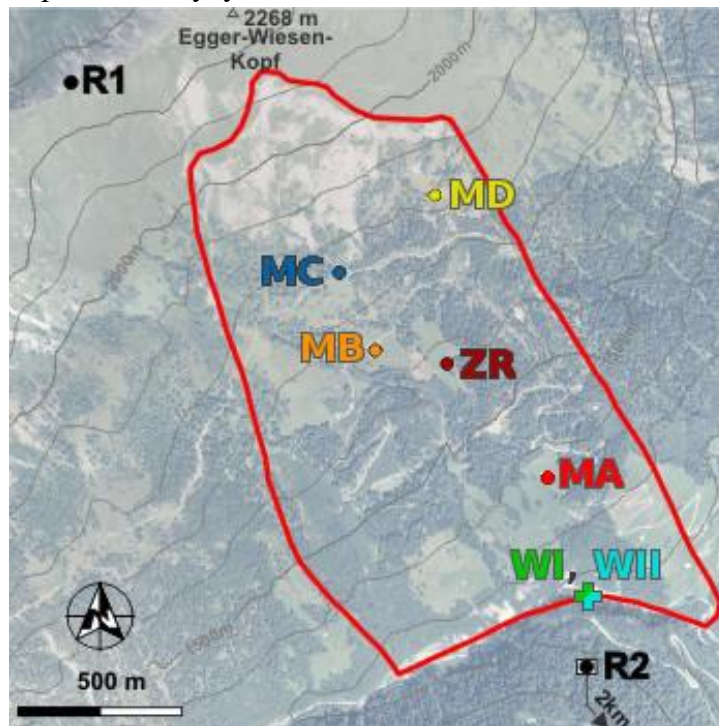


Рис. 1. Розміщення зсуву Граденбах та мережі ГНСС-станцій

На зсуві Граденбах встановлено п'ять станцій моніторингу і дві референсні станції в 1999 р. референсні станції R1, R2, станції моніторингу MA, MC були встановлені як перманентні у 2009 році. Станції MB, MD і ZR вмикаються тільки на декілька днів протягом року. Оброблення даних виконується в режимі реального часу в офісі Граца. Обчислення координат виконують в програмному забезпеченні BERNESSE з включенням автоматичного імпорту останніх орбітальних даних IGS та іоносферних і тропосферних поправок на основі 4-годинних сесій спостережень.

Для подальшого аналізу ми обрали результати спостережень для станції MC. Графіки виміряних переміщень та повного переміщення станції за час спостережень наведено на рис. 2 і 3.

Виходячи з попереднього аналізу отриманих результатів, зафіксовано нерівномірність та відсутність систематичності у виміряних переміщеннях. Попри це такі переміщення не можуть бути результатом похибок вимірювань, а наявність деформаційного процесу є очевидною. За таких умов можна висунути гіпотезу про вплив певних неврахованих параметрів на перебіг деформаційного процесу. В такому разі для прогнозування й аналізу деформаційного процесу, як зазначалося раніше, традиційні методи аналізу є непридатними.



Рис. 2. Виміряні вертикальні переміщення для станції МС

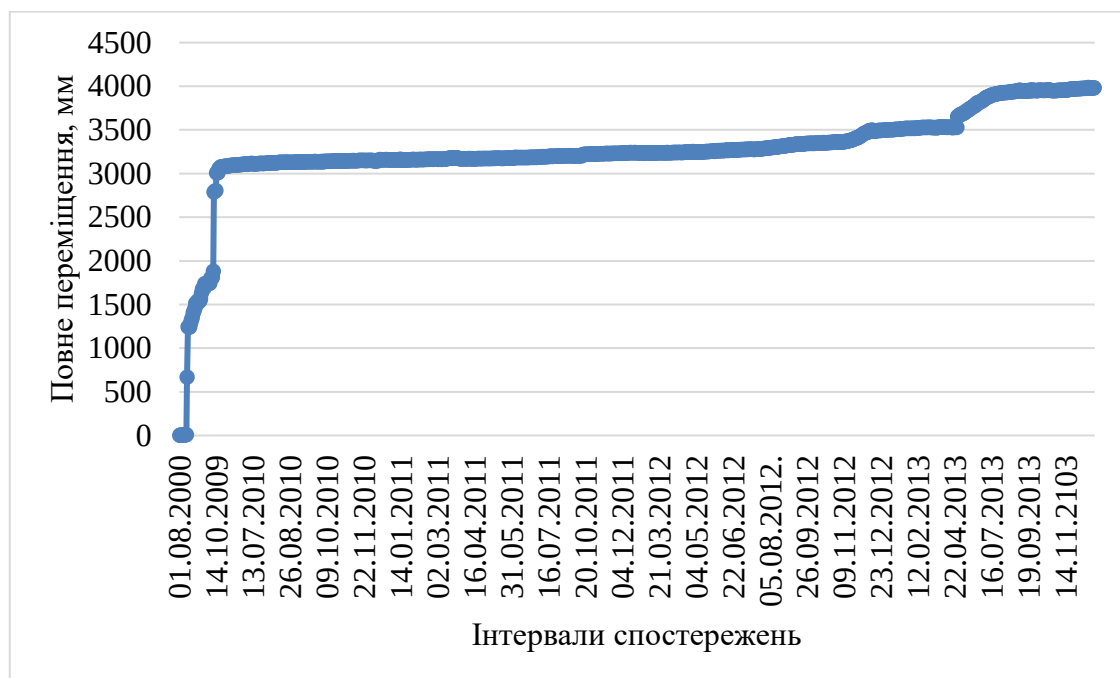


Рис. 3. Повні вертикальні переміщення для станції МС

Проблема моделювання деформаційного процесу може бути вирішена за допомогою дедуктивних логіко-математичних або індуктивних переборних методів. Дедуктивні та імітаційні методи мають перевагу у випадку досить простих задач моделювання, коли відома теорія об'єкта, що моделюється, і тому можлива розробка моделі, виходячи з фізично заснованих принципів, застосовуючи знання щодо процесів в об'єкті. Прийняття рішень про кінематику деформаційного процесу потребує засобів, що здатні отримувати точні моделі на основі прогнозів процесів. Проте виникають проблеми, пов'язані з великою

кількістю змінних, що впливають на деформаційний процес (температура конструкцій та навколишнього середовища, коливання рівня ґрунтових вод, динамічні навантаження та ін.), малою у статистичному сенсі кількістю спостережень і невідомими динамічними зв'язками між змінними. Такі процеси є складними, вони характеризуються [13]:

- недостатньою вихідною інформацією;
- великою кількістю параметрів, що не вимірюються;
- зашумленими або короткими вибірками даних;
- погано обумовленими об'єктами з розмитими характеристиками.

Такі проблеми не можуть бути розв'язані дедуктивними логіко-математичними методами з достатньою точністю. У такому разі здобуття знань з даних, тобто знаходження моделі на підставі експериментальних вимірювань, має перевагу, коли йдеться про досить складні об'єкти. Такі об'єкти містять мінімальне апріорне знання або не мають визначеної теорії взагалі. Це особливо стосується об'єктів з розмитими характеристиками.

Ці проблеми можуть бути вирішені за допомогою методу групового врахування аргументів (МГВА), котрий дає змогу знаходити знання про об'єкт безпосередньо з вибірки даних. Це індуктивний переборний метод, що має переваги щодо досить складних об'єктів, стосовно котрих немає визначеної теорії. Алгоритми МГВА знаходять єдину оптимальну для кожної вибірки модель за допомогою повного перебору всіх можливих моделей-кандидатів та операції їх оцінки за зовнішнім точностним критерієм на незалежній підвибірці даних. Далі наведено стислий виклад теорії МГВА згідно з роботами розробника цього методу академіка О.Г. Івахненка [13-15].

Підхід МГВА оснований на переборі моделей, що поступово ускладнюються, і їх оцінці за зовнішнім критерієм. В якості вхідних змінних можуть бути використані будь-які параметри, здатні впливати на процес. Комп'ютер сам знаходить структуру моделі та ступінь впливу параметрів на вихідну величину. Найкращою є та модель, що веде до мінімального значення зовнішнього критерію.

МГВА був розроблений для моделювання складних систем, прогнозування, ідентифікації й апроксимації багатофакторних систем, діагностики, розпізнавання образів та кластеризації вибірки даних. Аналітично доведено, що тільки за допомогою цього індуктивного методу самоорганізації для неточних, зашумлених або коротких вибірок даних може бути знайдена єдина оптимальна нефізична модель, точність прогнозу якої є вищою, а структура простішою, ніж структура звичайної повної фізичної моделі.

Метою нашої роботи є отримання математичної моделі опису деформаційного процесу, що відбудеться для об'єкта у майбутньому (задача прогнозування). МГВА вирішує за допомогою процедури перебору багатовимірну проблему оптимізації моделі [13-15]:

$$\tilde{g} = \arg \min_{g \in G} CR(g), CR(g) = f(P, S, \xi^2, T, V), \quad (1)$$

де G - множина моделей, що розглядаються, CR - зовнішній критерій якості моделі g з цієї множини; P - кількість множин змінних; S - складність моделі; ξ^2 - дисперсія завад; T - число трансформацій вибірки даних; V - кількість видів референтної функції.

Для базової референтної функції кожна множина змінних відповідає певній структурі моделі $P = S$. Задача трансформується до більш простої одновимірної:

$$CR(g) = f(S),$$

коли $\xi^2 = const, T = const, V = const$

В основі лежить переборна процедура, тобто послідовна перевірка моделей, що обираються з множини моделей-кандидатів відповідно до вибраного критерію. Більшість алгоритмів МГВА використовують поліноміальну базисну функцію. Загальний зв'язок між вхідними та вихідними змінними може бути виражений у вигляді функціонального ряду Вольтерра, дискретним аналогом якого є поліном Колмогорова–Габора:

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^M a_i x_i + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^M a_{ijk} x_i x_j x_k,$$

де $\mathbf{X}(x_1, x_2, \dots, x_M)$ - вхідний вектор змінних; $\mathbf{A}(a_1, a_2, \dots, a_M)$ - вектор ваг.

Метод дає змогу одночасно отримати оптимальну структуру моделі та залежність вихідних параметрів від вибраних найбільш значущих вхідних параметрів системи. Основною особливістю алгоритмів МГВА є те, що коли використовуються неперервні дані з завадами (похибками), він вибирає як оптимальну спрощену *нефізичну модель*. Тільки для точних чи дискретних даних алгоритми обирають так звану *фізичну модель* - найпростішу модель з усіх незміщених моделей.

Блок-схему комбінаторного алгоритму МГВА наведено на рис. 4. Вхідна вибірка даних являє собою таблицю яка містить N рівнів (точок) спостережень множини з M змінних. Вибірка поділяється на дві частини. Приблизно дві третини точок належать до навчальної підвибірки N_A , а одна третина точок, що залишилися (таким чином - кожна третя точка) з такою самою варіацією формують перевіірочну підвибірку N_B . Перед розбиттям точки ранжуються за значенням варіації. Навчальна вибірка використовується для одержання оцінок коефіцієнтів полінома, а перевіірочна підвибірка - для вибору структури оптимальної моделі, для якої зовнішній критерій регулярності $AR(s)$ набуває найменших значень:

$$AR(s) = \frac{1}{N_B} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i(B))^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

або краще застосовувати критерій перехресного контролю (cross-validation) $PRR(s)$ (він бере до уваги всю інформацію з вибірки даних та може бути обчислений без перерахування матриці для кожної перевіірочної точки):

$$PRR(s) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y_i - \hat{y}_i(B)]^2 \rightarrow \min, \quad N_A = N - 1, \quad N_B = 1.$$

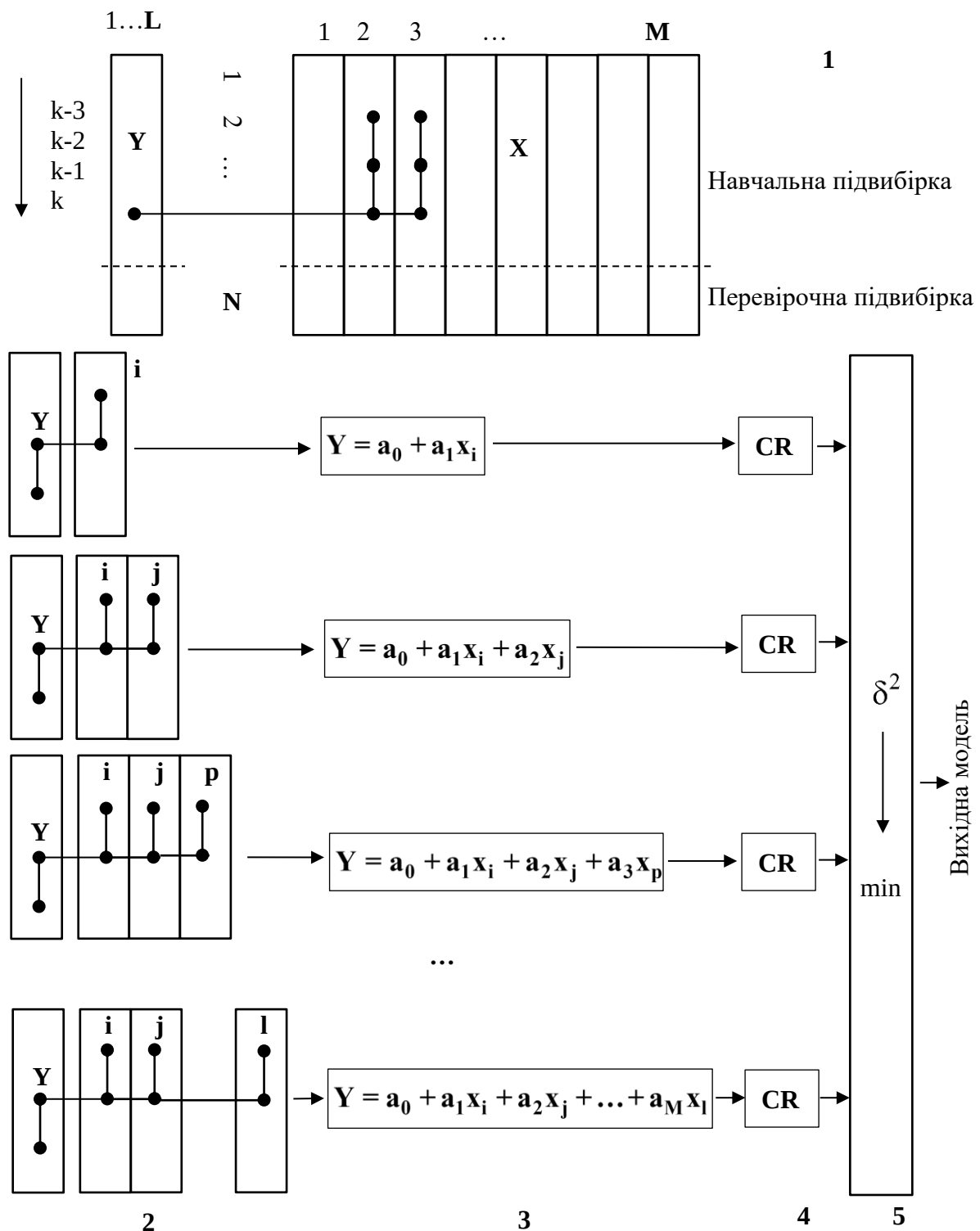


Рис. 4. Комбінаторний алгоритм МГВА:

1 - вибірка даних; 2 - ряди ускладнення часткових описів; 3 - форми часткових описів; 4 - вибір оптимальних моделей; 5 - додаткове визначення моделі за дискримінаційним критерієм

Для тестування моделі на відповідність за критерієм балансу вхідна вибірка даних поділяється на дві частини. Критерій вимагає вибору моделі, яка буде майже однаковою в обох підвибірках. Критерій балансу буде знаходити єдину оптимальну фізичну модель, тільки якщо вхідна вибірка зашумлена. Для отримання гладкої переборної кривої, яка дає змогу визначити правило зупинки переборної процедури, повний пошук проводиться на групах моделей однакової складності. Наприклад, перший рівень може використовувати інформацію з кожної однієї колонки вибірки даних таким чином, що повний пошук ведеться серед всіх можливих моделей виду:

$$y = a_0 + a_1x_i, \quad i = 1, 2, \dots, M. \quad (3)$$

Нелінійні члени можуть бути враховані як нові вхідні змінні у вибірці даних. Вихідна змінна визначається наперед експериментатором. На наступному рівні перебираються всі моделі виду:

$$y = a_0 + a_1x_i + a_2x_j, \quad j = 1, 2, \dots, M. \quad (4)$$

Моделі оцінюються на відповідність за критерієм і так далі, поки значення критерію зменшується.

За результатами виміряних переміщень, що наведені на рис. 3, за наведеною схемою було виконане прогнозування переміщень методом групового врахування аргументів за комбінаторним алгоритмом. Остаточного отримано модель прогнозування, що представлена далі у вигляді двох рівнянь.

$$Y_t = -34.3542 - 0.00539665\Delta S_{t-2} - 0.00000027644\Delta S_{t-2}N_t + 1.02495N_t; \quad (5)$$

$$N_t = 496.398 + 0.841535\Delta S_{t-1} - 0.0000000848953\Delta S_{t-1}cycle + 0.00259425cycle. \quad (6)$$

У табл. 1 наведено результати оцінювання точності отриманої моделі (5-6).

Таблиця 1

Точність моделі, побудованої за МГВА

Максимальне від'ємне відхилення, мм	-91,3
Максимальне додатне відхилення, мм	36,2
Середнє квадратичне відхилення, мм	12,4
Коефіцієнт кореляції	0,9989

На рис. 5 наведено результати прогнозування: графік виміряних переміщень (actual data), модельні переміщення (model fit), прогнозовані переміщення (predicted) та довірчий інтервал для прогнозу (confidence band). По вертикальній осі графіка відкладено вертикальні переміщення у міліметрах, а по горизонтальній осі – цикли спостережень.

На рис. 6 наведено у збільшеному вигляді результати прогнозування МГВА (позначення аналогічні до рис. 5).



Рис. 5. Графік вимірних переміщень та прогнозування

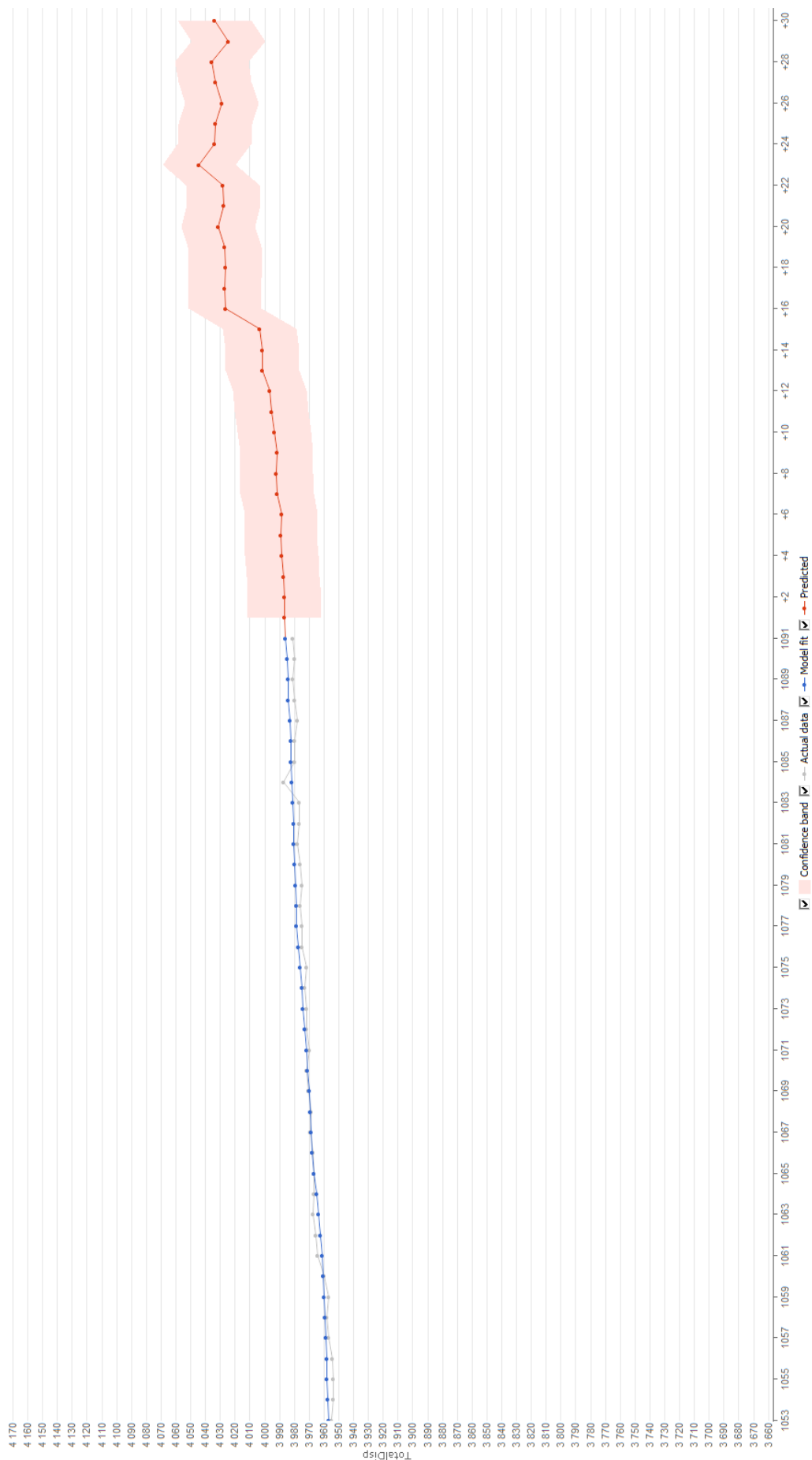


Рис. 6. Графік, що дає можливість оцінити якість прогнозування МГВА

Оцінити кількісно якість побудованої МГВА моделі можна, порівнявши її з іншою моделлю. Для прикладу розглянемо модель, що найчастіше використовується під час прогнозування переміщень – поліноміальну. Степінь полінома визначено, виходячи із співвідношення величина поліноміального коефіцієнта/точність визначення коефіцієнта. За таким критерієм побудовано поліном десятого степеня як такий, що забезпечує нацкращу точність. Загальний вигляд полінома:

$$Y_t = -239.882 + time \times 108.691 + time^2 \times (-1.36573) + time^3 \times 0.00901898 + time^4 \times (-3.53535e^{-5}) + time^5 \times 8.74106e^{-8} + time^6 \times (-1.39885e^{-10}) + time^7 \times 1.44593e^{-13} + time^8 \times (-9.31911e^{-17}) + time^9 \times 3.40658e^{-20} + time^{10} \times (-5.39741e^{-24}) \quad (7)$$

За моделлю (7) виконано оцінку точності (табл. 2).

Таблиця 2

Точність поліноміальної моделі

Максимальне відємне відхилення, мм	-522,9
Максимальне додатне відхилення, мм	575,0
Середнє квадратичне відхилення, мм	85,6
Коефіцієнт кореляції	0,9854

На рис. 7 наведено результати побудови поліноміальної моделі: графік вимірних переміщень (actual data) та модельні переміщення (model fit). На рис. 8 наведено графіки вимірних переміщень (actual data), модельні переміщення (model fit), прогнозовані переміщення (predicted) та довірчий інтервал для прогнозу (confidence band). По вертикальній осі графіка відкладено вертикальні переміщення у міліметрах, а по горизонтальній осі – цикли спостережень.

Порівнявши дані табл. 1 і 2, можемо констатувати, що модель, побудована за МГВА, безумовно є на порядок кращою порівнянно з поліноміальною моделлю. Особливо хочеться відмітити той факт, що середнє квадратичне відхилення у МГВА дорівнює 12 мм, що в загальному випадку відповідає точності вимірювання вертикальної складової за методом ГНСС-спостережень. При цьому коефіцієнт кореляції у даному випадку не є надійним критерієм оцінювання якості моделі.

Якщо порівняти якість прогнозування (рис. 6 і 8), то очевидно, що результати прогнозування за поліноміальною моделлю є неадекватними, незважаючи на високий степінь поліному. Розмах максимальних відхилень перевищує величину 1 м, що становить третину загального кінцевого переміщення.

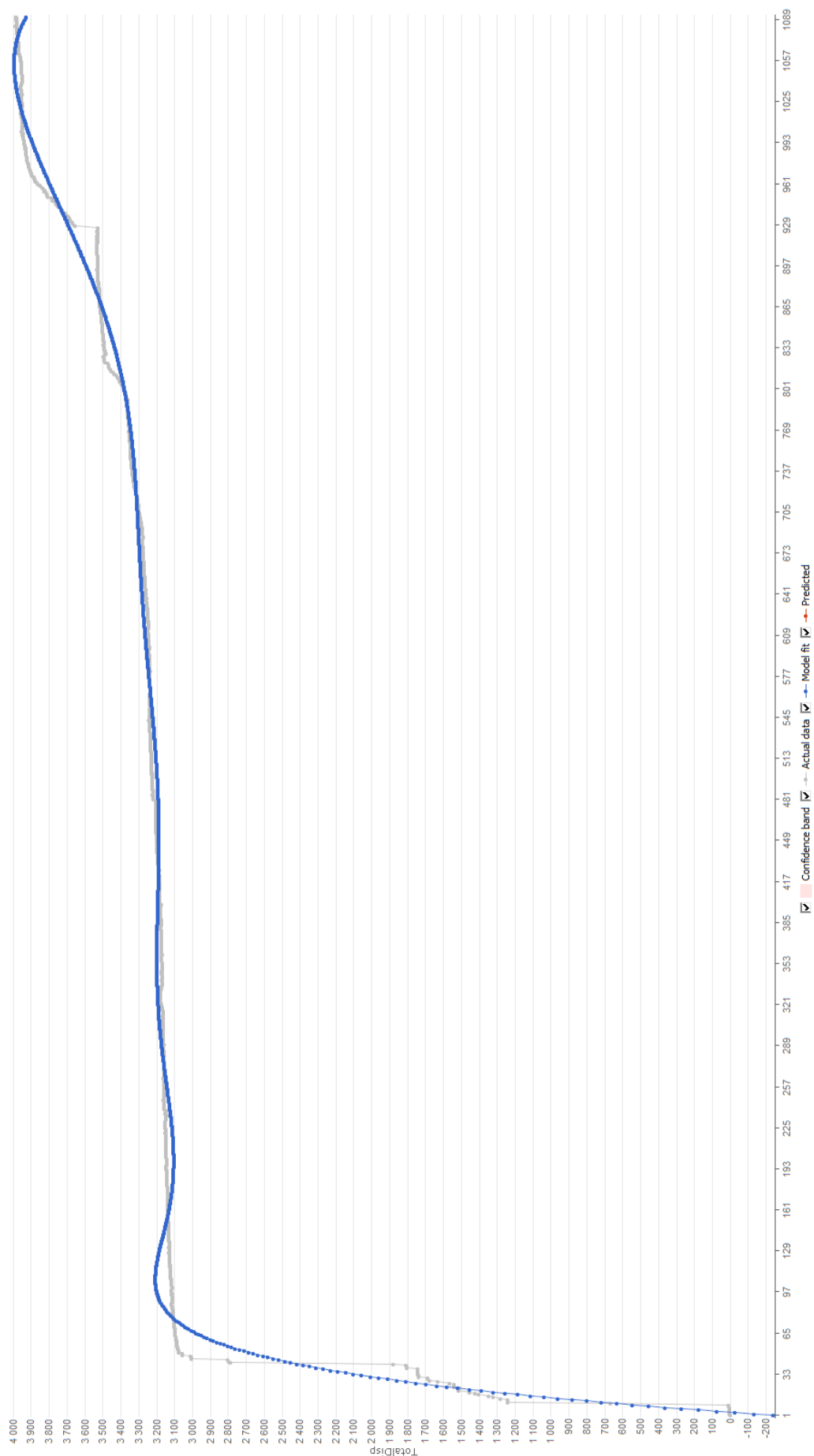


Рис. 7. Виміряні переміщення та графік поліному за цими переміщеннями

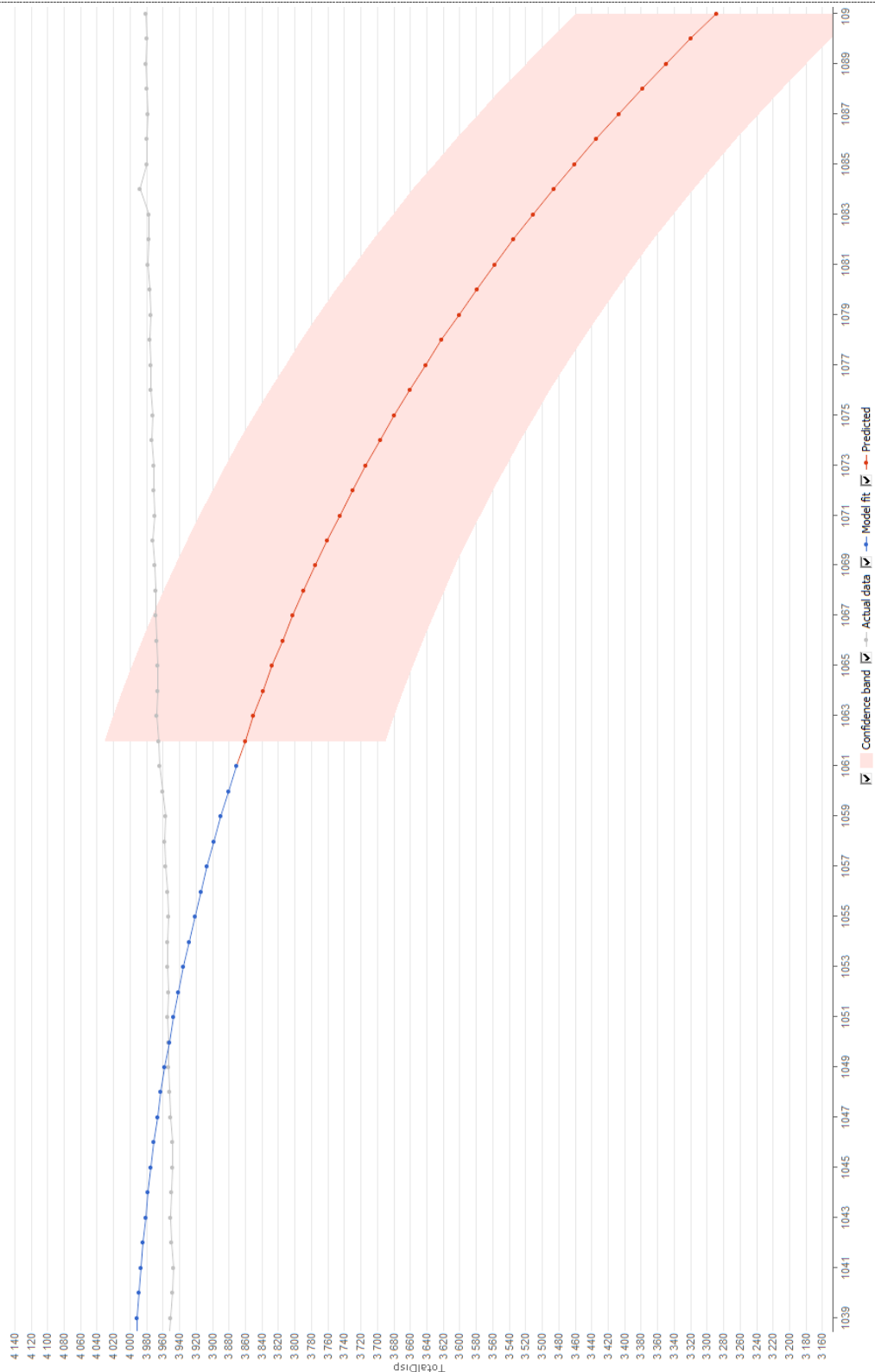


Рис. 8. Графік прогнозу за поліноміальною моделлю

Висновок. Упредставленій роботі досліджено можливості методу групового врахування аргументів для прогнозування вертикальних переміщень точок на зсувах. На прикладі результатів тривалих спостережень за вертикальними переміщеннями точок на зсуві Граденбах (Австрія) було виконане моделювання та прогнозування переміщень. Для підтвердження ефективності

запропонованого методу виконано прогнозування вертикальних переміщень з використанням поліноміальної апроксимації. Результати порівняльного аналізу підтвердили високу ефективність методу групового врахування аргументів під час прогнозування такого складного деформаційного процесу, як переміщення на зсувах. Важливо відмітити, що метод групового врахування аргументів дає можливість враховувати додаткові параметри у прогнозуванні, такі, наприклад, як кількість опадів, зміна температури та вологості.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Adeniyi I.* GPS Time Series Land Slide Monitoring using a Weighted Extended Kalman Filtering with a DIA Procedure // Shaping the Change XXIII FIG Congress, TS 29 – Land Slide Control and Monitoring Surveys, Munich, Germany, October 8-13, 2006. – pp. 1-11
2. *Brückl E., Brunner F.K., Lang E., Mertl S., Müller M., Stary U.* The Gradenbach Observatory—monitoring deep-seated gravitational slope deformation by geodetic, hydrological, and seismological methods *Landslides*, 2013 10:815–829 DOI 10.1007/s10346-013-0417-1
3. *Demirkaya, S.* Deformation Analysis of an Arch Dam Using ANFIS, in Proc. of the Second International Workshop (AIEG 2010) „Application of Artificial Intelligence in Engineering Geodesy“: selected papers. Ed. by Reiterer, A.; Egly, U., Heinert, M., Riedel, B. June, 2010, Braunschweig, Austria, 21–31.
4. *Ehigiator -Irughe, R., Ehiorobo, J., Ehigiator, M.* Prediction of dam deformation using Kalman filter technique, in FIG Congress 2014 Engaging the Challenges – Enhancing the Relevance, 16–21 June 2014, Kuala Lumpur, Malaysia.
5. *Eichhorn, A.* Tasks And Newest Trends in Geodetic Deformation Analysis: A Tutorial, in Proc. of the 15th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2007): selected papers, 3–7 September, 2007, Poznan, Poland. Poznan: EURASIP, P. 1156–1160.
6. *Heine, K.* Fuzzy Technology and ANN for Analysis of Deformation processes, in Proc. of the First International Workshop (AIEG 2008) „Application of Artificial Intelligence in Engineering Geodesy“: selected papers. Ed. by Reiterer, A.; Egly, U. December, 2008, Vienna, Austria, P. 9–25.
7. *Khelifa, S., Ghezali, B., Benahmed Daho, S.A.* Analysis of DORIS stations coordinates time series by the Singular Spectrum Analysis (SSA), in Integrating Generations FIG Working Week, 14–19 June 2008, Stockholm, Sweden.
8. *Li L.* Separability of deformations and measurement noises of GPS time series with modified Kalman filter for landslide monitoring in real-time. Dissertation, Munich 2013, 113 p.
9. *Lienhart W.* Case studies of high-sensitivity monitoring of natural and engineered slopes, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering* 7 (2015) 379-384 <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.04.002>
10. *Miima, J.B., Niemeier, W.* Adapting neural networks for modelling structural behavior in geodetic deformation monitoring, *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 129(3): 160–167. Retrieved from <http://geodaesie.info/zfv/zfv-32004/1319>.

11. *Modern Technologies for Landslide Monitoring and Prediction*, Scaioni, M. (Ed.), Edition: Springer Natural Hazards, Publisher: Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015, DOI: 10.1007/978-3-662-45931-7
12. Pantazis, G.; Alevizakou, E-G. The Use of Artificial Neural Networks in Predicting Vertical Displacements of Structures, *International Journal of Applied Science and Technology* 3(5): 1–8. Retrieved from http://www.ijastnet.com/journals/Vol_3_No_5_May_2013/1.pdf.
13. Ивахненко А. Г., Помехоустойчивость моделирования / А.Г. Ивахненко, В.С. Степашко. - Киев: Наук. думка, 1985. - 216 с.
14. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем / А.Г. Ивахненко. — Киев: Наук. думка, 1981. — 296 с.
15. Ивахненко А.Г. Самоорганизация прогнозирующих моделей / А.Г. Ивахненко, Й.А. Мюллер. - Киев: Техника, 1985; Берлин: ФЭБ Ферлаг Техник, 1984. - 223 с.
16. Идентификация движений и напряженно-деформированного состояния самоорганизующихся геодинамических систем: монография / В.А. Середович, В.К. Панкрушин, Ю.И. Кузнецов, Б.Т. Мазуров, В.Ф. Ловягин. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 356 с.
17. Мазуров Б.Т. Математическое моделирование по геодезическим данным: монография. / Б.Т. Мазуров. – Новосибирск: СГГА, 2013. – 127 с.
18. Павловская О.Г. Анализ и оценка по геодезическим данным динамики оползней в условиях проведения взрывных работ и разгрузки склонов [Автореферат] : дис. ... кандидата техн. наук / О.Г. Павловская. — Новосибирск, 2012. — 24 с.

REFERENCES

1. Adeniyi I. (2006). GPS Time Series Land Slide Monitoring using a Weighted Extended Kalman Filtering with a DIA Procedure // *Shaping the Change XXIII FIG Congress, TS 29 – Land Slide Control and Monitoring Surveys*, Munich, Germany, October 8-13, 2006 pp. 1-11
2. Brückl E., Brunner F.K., Lang E., Mertl S., Müller M., Stary U. (2013). The Gradenbach Observatory—monitoring deep-seated gravitational slope deformation by geodetic, hydrological, and seismological methods *Landslides* 10:815–829 DOI 10.1007/s10346-013-0417-1
3. Demirkaya, S. (2010). Deformation Analysis of an Arch Dam Using ANFIS, in *Proc. of the Second International Workshop (AIEG 2010) „Application of Artificial Intelligence in Engineering Geodesy“: selected papers*. Ed. by Reiterer, A.; Egly, U., Heinert, M., Riedel, B. June, 2010, Braunschweig, Austria, 21–31.
4. Ehigiator -Irughe, R., Ehiorobo, J., Ehigiator, M. (2014). Prediction of dam deformation using Kalman filter technique, in *FIG Congress 2014 Engaging the Challenges – Enhancing the Relevance*, 16–21 June 2014, Kuala Lumpur, Malaysia.
5. Eichhorn, A. (2007). Tasks And Newest Trends in Geodetic Deformation Analysis: A Tutorial, in *Proc. of the 15th European Signal Processing Conference (EUSIPCO 2007): selected papers*, 3–7 September, 2007, Poznan, Poland. Poznan: EURASIP, 1156–1160.

6. Heine, K. 2008. Fuzzy Technology and ANN for Analysis of Deformation processes, in *Proc. of the First International Workshop (AIEG 2008) „Application of Artificial Intelligence in Engineering Geodesy“: selected papers*. Ed. by Reiterer, A.; Egly, U. December, 2008, Vienna, Austria, 9–25.
7. Khelifa, S., Ghezali, B., Benahmed Daho, S.A. (2008). Analysis of DORIS stations coordinates time series by the Singular Spectrum Analysis (SSA), in *Integrating Generations FIG Working Week*, 14–19 June 2008, Stockholm, Sweden.
8. Li L.(2013). Separability of deformations and measurement noises of GPS time series with modified Kalman filter for landslide monitoring in real-time. *Thesis Ph.D.* Munich, 113 p.
9. Lienhart W. (2015). Case studies of high-sensitivity monitoring of natural and engineered slopes, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 7, 379–384. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2015.04.002>
10. Miima, J.B., Niemeier, W. (2004). Adapting neural networks for modelling structural behavior in geodetic deformation monitoring, *zfv – Zeitschrift für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement*, 129(3), 160–167. Retrieved from <http://geodaesie.info/zfv/zfv-32004/1319>.
11. Scaioni, M. (Ed.) (2015). Modern Technologies for Landslide Monitoring and Prediction. *Springer Natural Hazards*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. DOI: 10.1007/978-3-662-45931-7
12. Pantazis, G., Alevizakou, E-G. (2013). The Use of Artificial Neural Networks in Predicting Vertical Displacements of Structures, *International Journal of Applied Science and Technology* 3(5), 1–8. Retrieved from http://www.ijastnet.com/journals/Vol_3_No_5_May_2013/1.pdf.
13. Ivahnenko A. G., Stepashko V. S. (1985). *Pomehoustoychivost modelirovaniya [Immunity to interference simulation]*. Kiev: Nauk. dumka [in Russian].
14. Ivahnenko A.G (1981). *Induktivniy metod samoorganizatsii modeley slozhnykh sistem [Inductive method of self-organization of models of complex systems]*. Kiev: Nauk. dumka [in Russian].
15. Ivahnenko A.G., Myuller Y.A. (1985). *Samoorganizatsiya prognoziryuschiy modeley [Self-organization of predictive models]*. Kiev: Tehnyka, in Russian].
16. Seredovich V.A., Pankrushin V.K., Kuznecov Ju.I., Mazurov B.T., Lovjagin V.F. (2004). *Identifikacija dvizhenij i naprjazhenno-deformirovannogo sostojaniya samoorganizujushchih geodinamicheskikh sistem [Identification of the movements and the stress-strain state of self-organizing systems geodynamic]*. Novosibirsk: SGGA [in Russian].
17. Mazurov, B.T. (2013). *Matematicheskoe modelirovanie po geodezicheskim dannym [Mathematical modeling for geodetic data]*. Novosibirsk: SGGA [in Russian].
18. Pavlovskaja, O.G. (2012). *Analiz i ocenka po geodezicheskim dannym dinamiki opolznei v usloviyah provedenija vzryvnykh rabot i razgruzki sklonov [Analysis and evaluation on geodetic data landslide dynamics in conditions of blasting and unloading slopes]*. Novosibirsk [in Russian].

Р.В. Шульц, А.М. Хайлак**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГРУППОВОГО УЧЕТА АРГУМЕНТОВ
ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ТОЧЕК
НА ОПОЛЗНЕ**

В работе приведены практические результаты применения метода группового учета аргументов к результатам геодезических наблюдений за вертикальными перемещениями деформационных знаков на оползнях. Для исследования были использованы результаты наблюдений, находящиеся в открытом доступе, на оползне Граденбах, который расположен в Австрийских Альпах. В работе приведено краткое описание оползня и системы мониторинга на нем, которая была создана научной группой из Технического университета Граца (Австрия). Учитывая сложность оползневого процесса, было установлено, что традиционные методы прогнозирования (полиномиальные, экспоненциальные, тригонометрические и другие модели) в случае оползневых процессов являются неэффективными. Приведены основные положения метода группового учета аргументов и комбинаторного алгоритма этого метода. Для создания прогнозной модели было использовано программное обеспечение GMDH Shell. По данным мониторинга была построена прогнозная модель, которая была протестирована по результатам наблюдений методом обратного прогнозирования. Одновременно для подтверждения эффективности выбранного метода было выполнено прогнозирование с использованием классических моделей. Результаты исследования подтвердили высокую эффективность метода группового учета аргументов и его преимущество перед другими известными методами прогнозирования.

Ключевые слова: оползень, прогнозирование, метод группового учета аргументов, комбинаторный алгоритм, вертикальные перемещения..

R. Shults, A. Khailak**APPLICATION OF THE GROUP METHOD OF DATA HANDLING FOR
PREDICTION OF POINTS VERTICAL DISPLACEMENTS
ON THE LANDSLIDE**

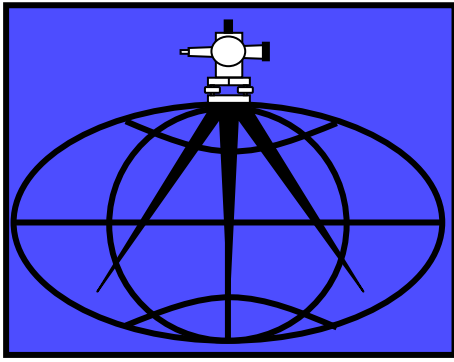
The practical results of group method of data handling application to the results of geodetic observations of vertical displacements of deformation marks on landslides are given in the paper. For the research we used the results of observations in free access on the landslide of Gradenbach which is located in the Austrian Alps. The paper gives a brief description of the landslide and the monitoring system which was created by a scientific group from the Technical University of Graz (Austria). Given the complexity of the landslide process it was found that traditional methods of prediction (polynomial, exponential, trigonometric and other models) in the case of landslide processes are ineffective. The key ideas of the group method of data handling and the combinatorial algorithm of this method are given. To create the prediction model, the software GMDH Shell was used. According to the monitoring data the prediction model was constructed and based on the results of observations was tested by the method of

reverse prediction. Simultaneously in order to confirm the effectiveness of the chosen method the prediction using classical models were made. The results of the research confirmed the high efficiency of the group method of data handling and its advantage over other known prediction methods.

Keywords: *landslide, prediction, group method of data handling, similarity measure, combinatorial algorithm, vertical displacements.*

Надійшла до редакції

15.04.2018



КАДАСТР І МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

УДК 528.44:332.264.3:332.15

*О.С. Петраковська, д-р техн. наук, професор,
зав. кафедри землеустрою і кадастру,*

М.Ю. Михальова, канд. техн. наук,

доцент кафедри землеустрою і кадастру

Київський національний університет будівництва і архітектури

МЕТОДИКА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНИМИ ЗЕМЕЛЬНИМИ РЕСУРСАМИ ПРИ БУДІВНИЦТВІ ОБ'ЄКТІВ ІНЖЕНЕРНО- ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

У статті проаналізовано проблеми і завдання, які виникають при забезпеченні земельними ділянками для будівництва транспортних об'єктів, визнаних як "суспільна потреба". Специфіка будівництва об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури зумовлена їх значною протяжністю та необхідністю придбання великої кількості земельних ділянок, що перебувають у приватній власності. У статті запропоновано методику будівництва інженерно-транспортної інфраструктури з відчуженням земельних ділянок. Ця методика ґрунтується на узагальненому зарубіжному досвіді відчуження землі, правових нормах чинного законодавства та існуючій практиці імплементації об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури у містобудівне і природне середовище.

Ключові слова: відчуження земельних ділянок, суспільна потреба, земельні ресурси, приватна власність.

Вступ. Однією з основних ідеологій сучасності є забезпечення сталого розвитку населених пунктів, відповідно до якої вагоме значення у забезпеченні умов життєдіяльності населення та функціонуванні галузевого комплексу країни загалом й окремих її територій мають об'єкти інженерно-транспортної інфраструктури. Імплементація цих об'єктів потребує забезпечення земельними ресурсами.

Загальна площа земельних ділянок, зареєстрованих в Державному земельному кадастрі, дорівнює 41 812 127,76 га, що становить 69,7 % площі України. Відсоток зареєстрованих земель, які перебувають в приватній власності,

коливається від 21,0% до 99,6% залежно від області за середнього значення в країні 81,8% [14].

За умов збільшення антропогенного і техногенного навантаження на території населених пунктів, дефіциту вільних територій і переважання земель приватної власності забезпечення необхідними землями для спорудження нових об'єктів і розширення вже збудованих потребує відчуження земельних ділянок для суспільних потреб. В статті розглядаються об'єкти інженерно-транспортної інфраструктури, які законодавством України визнані як суспільна потреба і які відіграють значну роль у забезпеченні життєдіяльності населення, економічному і просторовому розвитку міст.

Аналіз досліджень і публікацій. Автори публікацій [11; 15] досліджують проблеми регулювання земельних відносин і дотримання прав власності. В роботах [8; 9] висвітлено проблеми розвитку населених пунктів й удосконалення їх функціонально-планувальної організації. Зарубіжний досвід регулювання питань щодо відчуження земельних ділянок розглянуто в джерелах [1].

Постановка проблеми. У зв'язку з державними пріоритетами розбудови інженерно-транспортного обслуговування в Україні є потреба в коригуванні алгоритму забезпечення об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури землями, потрібними для їх будівництва. Мета статті – розроблення методики забезпечення необхідними земельними ресурсами під час будівництва об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури.

Основна частина. Результати дослідження нормативно-правового регулювання й аналіз практичної реалізації будівництва об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури як суспільної потреби в існуюче містобудівне та природне середовище свідчать про два варіанти вирішення цього питання:

- місце розташування об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури визначено в затвердженій містобудівній документації;
- місце розташування об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури не встановлено в затвердженій містобудівній документації.

У першому випадку розрахунок техніко-економічних показників фактично відбувається під час розроблення проектної документації на будівництво. На цьому етапі інвестор може встановити земельні ділянки, які підлягають відчуженню, і визначити загальний обсяг капіталовкладень з урахуванням відшкодування власникам. Слід зазначити, що нормативно визначений кошторис при розробці проектної документації включає всі витрати на відчуження земель [13]. Однак розроблення проектної документації і складання остаточного кошторису з метою обґрунтування капіталовкладень не є доцільним й ефективним.

Коли потреба в об'єкті виникає додатково до затверджених в містобудівній документації об'єктів, її реалізація на практиці відбувається за іншою схемою, виправданою з точки зору обґрунтування. Спочатку розробляють альтернативні варіанти розміщення об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури та здійснюють їх техніко-економічне обґрунтування, у якому зазначають витрати на відчуження земельних ділянок. Це дає змогу визначити частку витрат на відшкодування збитків власникам та визначити економічну ефективність обраної

траси. У різних інвестиційних проєктах максимальна частка відшкодувань власникам у загальних капіталовкладеннях в проєкт, на яку погодиться інвестор, може бути різною залежно від категорії складності об'єкта, терміну самоокупності та прибутковості. Але під час запровадження об'єкта у такому разі виникає потреба у великій кількості додаткових адміністративних узгоджень, погоджень і затверджень, які часто призводять до порушення прав власників.

Варто зазначити, що відчуження земельних ділянок не тільки зачіпає фінансові питання відшкодування збитків і майнові права, а й, що не менш (а може, і більш) важливо, призводить до психологічних наслідків примусової дії. Хоч би до якої соціальної групи належали власники, вони так чи інакше поєднані певними зв'язками з середовищем, в якому живуть: робота, відпочинок (у разі житлової забудови), виробничими відносинами з постачальниками та споживачами (у разі виробничої нерухомості) тощо. Тому у виборі варіанта будівництва лінійних об'єктів, які потребують відчуження великої кількості нерухомості, за їх однакової містобудівної цінності слід віддати перевагу варіанту з найменшою кількістю нерухомості, яка передбачена для відчуження.

У разі виявлення невідповідності транспортного та інженерного забезпечення потребам суспільства пропонується методика забезпечення суспільних потреб необхідними земельними ресурсами із застосуванням відчуження земель для суспільних потреб (рис. 1). Методика складається з *п'ятих етапів*: розроблення альтернативних варіантів траси об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури; визначення місця розташування об'єкта та його легалізація; відчуження земельних ділянок для суспільних потреб; реєстрація нових об'єктів нерухомого майна та будівництво об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури.

Запропонована методика ґрунтується на узагальненому зарубіжному досвіді відчуження земельних ділянок для суспільних потреб, досвіді практичного впровадження об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури в містобудівне середовище та на чинному законодавстві.

Якщо виникла суспільна потреба в будівництві об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури, потрібно розробити обґрунтовані альтернативні варіанти його розміщення (*етап 1*). В основу розробки альтернативних варіантів покладено потребу в обслуговуванні містобудівних об'єктів транспортними або інженерними комунікаціями.

Наступним кроком є остаточне визначення місця будівництва об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури та його легалізація. Насамперед треба виконати аналіз юридичних підстав для впровадження прийнятого рішення. Далі з'ясовують кількість землеволодінь/землекористувань, які потрапляють в смугу відведення об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури, та їх якісні і кількісні характеристики. Після того як визначено земельні ділянки, які мають бути вилучені, їх загальну площу та середню ринкову вартість, інвестор може виконати попередню оцінку доцільності будівництва за обраною траєкторією. Далі з'ясовують, чи згодні власники на запропоновану викупну вартість. У разі згоди власників (з урахуванням повного або часткового відчуження) можна оцінити витрати, які не були враховані в попередній оцінці.

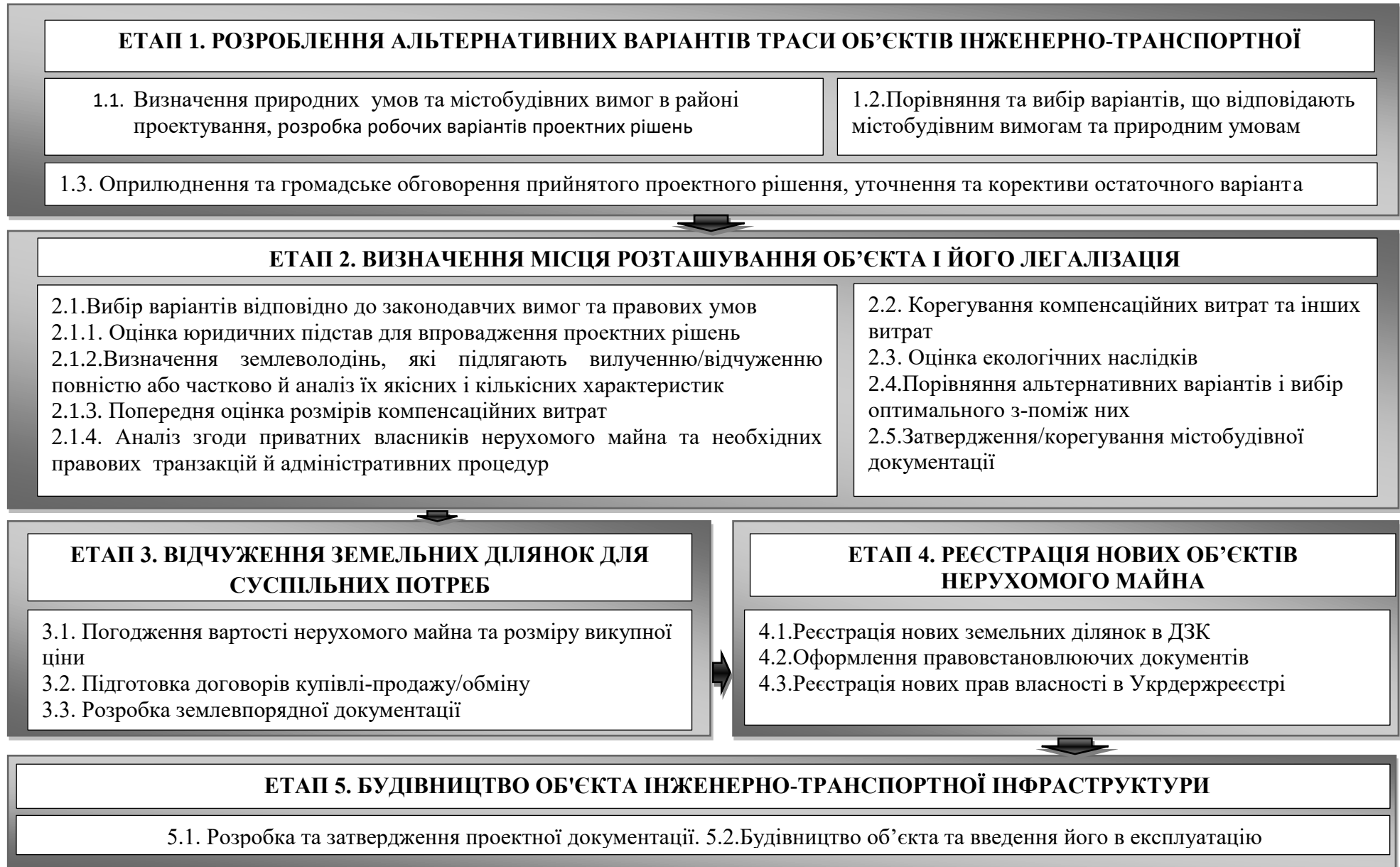


Рис. 1 Методика забезпечення необхідними земельними ресурсами із застосуванням відчуження земель для суспільних потреб

З погляду економічної ефективності прийняття рішення щодо відчуження земельних ділянок, компенсаційні витрати на відшкодування збитків при відчуженні земельних ділянок становлять майже половину статей витрат загальної вартості лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури. Отже, немає жодних сумнівів в необхідності попередньої оцінки розмірів компенсаційних витрат при впровадженні об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури. На цьому етапі доцільно також виконати попередню оцінку екологічних наслідків як однієї з основних складових сталого розвитку населених пунктів.

На нашу думку, тільки після порівняння альтернативних варіантів і вибору оптимального місця розташування лінійного об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури з точки зору економічної доцільності, соціальної ефективності й екологічної стабільності та за умови дотримання паритету прав доречно вносити корективи або затверджувати містобудівну документацію на місцевому рівні.

Запропонований в роботі *другий етап* – законодавчо не визначений в Україні, але його запровадження дало б можливість ухвалювати обгрунтовані рішення щодо місця розташування об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури до затвердження містобудівної документації. Проблеми, які виникають у процесі відчуження земельних ділянок для суспільних потреб в Україні, мають бути вирішені саме до моменту відчуження, що й окреслено в другому етапі. Цей етап в методиці фактично спрямований на захист інвестицій і прав землекористувачів.

Запропоновані *третій і четвертий етапи* законодавчо визначені як обов'язкові заходи в загальній системі діяльності у сфері землеустрою і кадастру, що регулюють питання саме процедур відчуження земельних ділянок для суспільних потреб, такі як погодження вартості нерухомого майна і розміру викупної ціни; підготовка договорів купівлі-продажу/обміну, розроблення землепорядної документації і реєстрація нових об'єктів нерухомого майна [4-6].

Завершальним етапом (*п'ятий етап*) є розроблення проектної документації та початок будівництва об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури.

Висновки. Застосування методу відчуження земель характеризується певним набором проектних робіт, фінансових розрахунків, адміністративних процедур і правових транзакцій. Чіткої послідовності впровадження цих окремих складових нині в Україні немає, що ускладнює відстеження легітимності процесів.

Основною підставою для законного відчуження земель під суспільні потреби є містобудівна документація. Проте попередню оцінку витрат на відшкодування збитків виконують під час розроблення проектної документації, тому розроблення та корегування містобудівної документації має здійснюватись з урахуванням наявних землеволодінь/користувань відповідно до встановлених прав власності. Обов'язковим етапом має бути попередня оцінка ефективності проектного рішення щодо будівництва об'єкта інженерно-транспортної інфраструктури з огляду на всі наслідки відчуження земель.

Нині офіційної інформації щодо відчуження земель для суспільних потреб немає. Дотримання всіма учасниками процесу чіткої системи взаємопов'язаних послідовних дій сприятиме прозорості і демократичності цього процесу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Compulsory acquisition of land and compensation*. - Roma : FAO, 2008. - 63 p.
2. *Petrakovska O.* The role of land compulsory purchase in engineering and transport infrastructure development / Olga Petrakovska, Mariia Mykhalova // MOTROL. – 2015. – Vol.17. – No. 8, – P. 103-109.
3. Закон України «Про відчуження земельних ділянок, інших об'єктів нерухомого майна, що на них розміщені, які перебувають у приватній власності, для суспільних потреб чи з мотивів суспільної необхідності» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1559-17>.
4. Закон України «Про державний земельний кадастр» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3613-17>.
5. Закон України «Про державну реєстрацію речових прав на нерухоме майно та їх обтяжень» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1952-15>.
6. Закон України «Про землеустрій» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/858-15>.
7. Закон України «Про регулювання містобудівної діяльності» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3038-17>.
8. Лізунова А.П. Відчуження земельних ділянок для суспільних потреб як складова сталого розвитку територій / А. П. Лізунова, М. Ю. Михальова // Містобудування та територіальне планування. – 2012 – № 43. – С.210-215.
9. Лізунова А.П. Правові та просторово-технічні аспекти відчуження земельних ділянок для суспільних потреб чи з мотивів суспільної необхідності в Україні / А. П. Лізунова, М. Ю. Михальова // Містобудування та територіальне планування. – 2011. – № 42. – С.204-209.
10. Михальова М.Ю. Удосконалення методичного забезпечення відчуження земельних ділянок для суспільних потреб: дис. ... канд. техн. наук: 05.24.04 / Михальова Марія Юріївна. – Київ : КНУБА, 2017.- 144 с.
11. Петраковська О.С. Девелопмент нерухомості та сталий розвиток міст/ О.С. ПЕТраковська, Ю.О. Тацій. – Київ: Кий, 2015. – 504 с.
12. Постанова Верховної Ради України «Концепція сталого розвитку населених пунктів України» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1359-14>.
13. ДСТУ Б Д.І.І-1:2013: Правила визначення вартості будівництва [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://dbn.at.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_d_1_1_1_2013/5-1-0-1113.
14. Моніторинг земельних відносин в Україні 2014-2015 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://land.gov.ua/>.
15. Яргина З.Н. Градостроительный анализ / З.Н. Яргина. – М.: Стройиздат, 1984. – 245 с.

REFERENCES

1. Compulsory acquisition of land and compensation (2008). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*, Roma.
2. Petrakovska O.S. & Mykhalova M.Yu. (2015). The role of land compulsory purchase in engineering and transport infrastructure development. *MOTROL*, Vol.17, No. 8, (pp. 103-109).
3. Zakon Ukrainy «Pro vidchuzhennia zemelnykh dilianok, inshykh ob'ektiv nerukhomoho maina, shcho na nykh rozmishcheni, yaki perebuvaiut u pryvatnii vlasnosti, dlia suspilnykh potreb chy z motyviv suspilnoi neobkhidnosti» [The Law of Ukraine «On the land alienation, other objects that are located on them, which are in private ownership, for public needs or from the motives of public necessity»]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/1559-17> [in Ukrainian].
4. Zakon Ukrainy «Pro derzhavnyi zemelnyi kadastr» [The Law of Ukraine On the state land cadastre]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3613-17> [in Ukrainian].
5. Zakon Ukrainy «Pro derzhavnu reiestratsiiu rechovykh prav na nerukhome maino ta yikh obtiazhen» [The Law of Ukraine «On the state registration of real estate right and their encumbrances»]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1952-15> [in Ukrainian].
6. Zakon Ukrainy «Pro zemleustrii» [The Law of Ukraine «On land management»]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/858-15> [in Ukrainian].
7. Zakon Ukrainy «Pro rehuliuвання mistobudivnoi diialnosti» [The Law of Ukraine « On the regulation of spatial planning activities»]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/3038-17> [in Ukrainian].
8. Lizunova, A.P., & Mykhalova M.Yu. (2012). Vidchuzhennia zemelnykh dilianok dlia suspilnykh potreb yak skladova staloho rozvytku terytorii [Alienation of land plots for public needs as a component of sustainable development of territories]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban and territorial planning*, 43 (pp. 204-209). [in Ukrainian].
9. Lizunova, A.P., & Mykhalova M.Yu. (2011). Pravovi ta prostorovo-tekhniczni aspekty vidchuzhennia zemelnykh dilianok dlia suspilnykh potreb chy z motyviv suspilnoi neobkhidnosti v Ukraini [Legal and spatial-technical aspects of alienation of land plots for public needs or for reasons of public necessity in Ukraine]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban and territorial planning*, 42, (pp. 210-215). [in Ukrainian].
10. Mykhalova, M.Yu. (2017). Udoshkonalennia metodychnoho zabezpechennia vidchuzhennia zemelnykh dilianok dlia suspilnykh potreb [Improvement of the methodological provision for the alienation of land plots for public needs]. *Candidate's thesis*. Kyiv: KNUCA [in Ukrainian].
11. Petrakovska O., Tatsiy Yu. (2015). *Development nerukhomosti ta stalyyi rozvytok mist [Real Estate Development and Sustainable Urban Development]*. Kyiv: Publishing house "Kyy" [in Ukrainian].

12. Postanova Verkhovnoi Rady Ukrainy «Kontseptsiiia staloho rozvytku naselenykh punktiv Ukrainy» [Resolution of the Verkhovna Rada of Ukraine «Concept of sustainable development of settlements of Ukraine»]. (n.d.). zakon.rada.gov.ua. Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1359-14> [in Ukrainian].

13. DSTU B D.1.1-1:2013: Pravyla vyznachennia vartosti budivnytstva [Rules for determining the construction cost] Retrieved from http://dbn.at.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_d_1_1_1_2013/5-1-0-1113 [in Ukrainian].

14. Statystychnyi shchorichnyk «Monitorynh zemelnykh vidnosyn v Ukraini 2014-2015» [Monitoring of land relations] Retrieved from <http://land.gov.ua/> [in Ukrainian].

15. Iarhyna Z.N. (1984). *Hradowstroytel'nyi analiz* [Town planning analysis]. Moscow: Stroiyzdat [in Russian].

О.С. Петраковская, М.Ю. Михалёва

МЕТОДИКА ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕОБХОДИМЫМИ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ОБЪЕКТОВ ИНЖЕНЕРНО-ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

В статье проанализированы проблемы и задачи, которые возникают при обеспечении земельными участками для строительства транспортных объектов, признанные "общественной потребностью". Специфика строительства объектов инженерно-транспортной инфраструктуры обусловлена их значительной протяженностью и необходимостью приобретения большого количества земельных участков, находящихся в частной собственности. В статье предложена методика строительства инженерно-транспортной инфраструктуры с применением отчуждения земельных участков. Предложенная методика базируется на общем зарубежном опыте по отчуждению земли, правовых норм действующего законодательства и практики имплементации объектов инженерно-транспортной инфраструктуры в градостроительную и природную среду.

Ключевые слова: отчуждение земельных участков, общественная потребность, земельные ресурсы, частная собственность.

O. Petrakovska, M. Mykhalova

THE METHOD OF PROVISION OF LAND RESOURCES IN CONSTRUCTION OF ENGINEERING AND TRANSPORT INFRASTRUCTURE OBJECTS

The problems and the tasks of land provision for construction of transport facilities which are recognized as «public need» are analyzed in the article. The specifics of the construction of engineering and transport infrastructure objects consist in their large lengths and the need for a huge number of land plots of private property to be bought. Two pvariants of the decision concerning implementation of objects of engineering-transport infrastructure are analyzed in the article. In the article the method construction of transport facilities with land compulsory purchase is proposed. The method consists of five stages. This method is based on the generalized foreign experience on compulsory purchase and Ukrainian legal regulations and existing

practice of transport facilities construction in urban condition and natural environment. The use of the proposed method would make it possible to make well-grounded decisions regarding the location of the engineering and transport infrastructure object prior to the approval of the urban planning documentation.

Keywords: compulsory purchase, public need, land resources, private ownership.

Надійшла до редакції

05.03.2018

УДК 349.4

О.С. Петраковська, *д-р техн. наук, професор,
завідувач кафедри землеустрою і кадастру
Київський національний університет будівництва і архітектури*
Ю.Є. Трегуб, *асистент кафедри геодезії
Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»*

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ВИЗНАЧЕННЯ РОЗМІРІВ ОБМЕЖЕНЬ У ВИКОРИСТАННІ ЗЕМЕЛЬ

Проаналізовано чинні нормативно-правові акти України та наукові публікації з метою визначення і систематизації факторів, які впливають на розмір зон обмежень у використанні земель в Україні. Фактори згруповано залежно від виду відповідного обмеження. Такий підхід дав змогу здійснити перехід до ще більш укрупненої класифікації на природні, екологічні, економічні, функціонально-планувальні й адміністративні групи. Відповідно до розміру зони дії обмежень класифіковано можливі види їх конфігурації.

Ключові слова: зона обмеження у використанні земель, просторові характеристики зони обмеження, фактори, управління земельними ресурсами.

Постановка проблеми. Одна з ключових проблем сьогодення – забезпечення сталого використання земель у населених пунктах. Дотримання сучасних принципів планування територій є невід’ємною складовою механізму його забезпечення. Низка невирішених питань землеустрою та містобудування не дають можливості розв’язати проблему оптимізації використання земельних ресурсів у містах, особливо зі значним промисловим потенціалом.

Важливою складовою частиною процесу планування землекористування є правильне визначення зон обмежень у використанні земель, подальше встановлення їх меж на місцевості та державна реєстрація. Згодом, у зв’язку з трансформацією містобудівного середовища, розміри зон дії обмежень можуть бути переобчислені і змінені. Нині українським законодавством і галузевими нормативними актами встановлені норми щодо визначення розмірів зон обмежень у використанні земель й обтяжень прав на земельні ділянки [3]. Для їх коректного

встановлення важливо розуміти причинно-наслідкові зв'язки і фактори, які впливають безпосередньо на формування зон обмежень. Таким чином, систематизація факторів залежно від типу обмеження й об'єкта, навколо якого їх встановлюють, є актуальною науково-прикладною задачею, особливо для міст, де переважає щільна забудова.

Метою дослідження є визначення та систематизація факторів, які впливають на розмір зон обмежень у використанні земель в Україні, а також обґрунтування можливої конфігурації меж зон дії обмежень залежно від його виду та від джерела забруднення.

Виклад основного матеріалу. У ринкових умовах виконання завдань щодо забезпечення сталого розвитку територій значно ускладнюється. Одним із загальновідомих механізмів забезпечення сталого землекористування є обмеження діяльності на певних територіях або окремих земельних ділянках. Сукупність всіх обмежень можна умовно поділити на такі [22]:

- навколо об'єктів, які є джерелом забруднення;
- навколо об'єктів, що потребують охорони.

Особливу групу становлять обмеження навколо оборонних об'єктів, які не аналізуються у межах цього дослідження. Встановлення обмежень відіграє суттєву роль, насамперед у забезпеченні екологічної складової сталого розвитку. Накладання обмежень на певні види діяльності є фактично втручанням в право власності на землю, однак обґрунтованим з погляду дотримання суспільних інтересів. Вимагати дотримання встановлених на земельні ділянки обмежень щодо їх використання може бути законним тільки за умови визначення просторових характеристик цих обмежень.

На розмір зон обмежень у використанні земель впливає значна кількість факторів, які не є однозначно визначеними та варіюються залежно від типу обмеження й об'єкта, навколо якого їх встановлюють. Важливим просторовим показником зон обмежень є конфігурація, тому авторами досліджено різновиди конфігурації.

Огляд публікацій вітчизняних науковців дав можливість виявити сукупність факторів, які впливають на використання земель населених пунктів [4-8]. Авторами проаналізовано також сукупність факторів, які зумовлюють формування зон обмежень. Аналіз виконано, спираючись на дослідження нормативно-правової бази, літературних джерел та документації різних видів, в яких відображено певні обмеження [9-22]. У статті розглянуто фактори, які впливають на планувальні характеристики охоронних зон, зон санітарної охорони, санітарно-захисних зон. Результати дослідження наведено в таблиці.

Таблиця

Фактори, які впливають на розмір і конфігурацію зони обмежень у використанні земель

Зона обмеження	Об'єкти, наголою яких встановлюються зони обмежень	Розмір зони обмеження		Конфігурація	
		Фактори, що впливають на розмір	Нормативний розмір	Багато-кутник	Ко-ло
Охоронні зони	об'єкти природно-заповідного фонду (ПЗФ)	Біологічний склад, стан ландшафтів; охоронний статус, рельєф прилеглих територій, функціональне навантаження прилеглих земель	Встановлюється в процесі розроблення документації ПЗФ	+	
	об'єкти культурної спадщини	вид об'єкта культурної спадщини, стан об'єкта культурної спадщини, категорія пам'ятки, геологічні і геоморфологічні характеристики прилеглих земель, рельєф прилеглих територій, функціональне навантаження прилеглих земель	Встановлюється під час розроблення МД ¹ (історико-архітектурного опорного плану)	+	+
	об'єкти транспорту	категорія транспортних комунікацій (доріг, залізниць тощо), категорія морських, річкових аеропортів, гранично допустимі показники різних видів забруднення, рельєф прилеглих територій, функціональне навантаження прилеглих земель	50-700 м Встановлюється в МД на підставі екологічного паспорта	+	
	об'єкти зв'язку	розміщення відносно поверхні землі, рельєф прилеглих територій, гранично допустимі показники різних видів забруднення	2-100 м	+	+

¹ МД – містобудівна документація

Продовження табл.

	об'єкти енергетичної системи	рівень напруги, використання суміжних земель, показник енергетичної ефективності, рельєф прилеглих територій, функціональне навантаження прилеглих земель, гранично допустимі показники різних видів забруднення	2-100 м	+	+
	об'єкти гідрометеорологічної діяльності	розряд метеостанції, клас цифрових метеостанцій, рельєф прилеглих територій, використання суміжних земель, гранично допустимі показники різних видів забруднення	50-200 м	+	+
	геодезичні пункти	—	1 м		+
	інженерні комунікації	вид інженерної комунікації, розташування відносно поверхні землі, рельєф прилеглих територій, функціональне навантаження прилеглих земель, гранично допустимі показники різних видів забруднення	електромережі 1-100м; водопровід 10-50 м; каналізація 3-10 м встановлюють у МД	+	
	промислові об'єкти	виробнича потужність об'єкта, технологічна спрямованість об'єкта, функціональне навантаження прилеглих земель	встановлюють у МД на підставі екологічного паспорта	+	
Зони санітарної охорони	джерела й об'єкти централізованого питного водопостачання	розташування відносно поверхні землі, тип забруднювальних речовин прилеглих земель, геологічні, гідрологічні, гідрогеологічні умови прилеглих земель, функціональне навантаження прилеглих земель	встановлюють у МД визначають за розрахунками	+	+
	курорти	характер природних лікувальних ресурсів, медичний профіль курорту, функціональне навантаження прилеглих земель	встановлюють в МД	+	

Закінчення табл.

Санітарно-захисні зони	земельні ділянки промислових підприємств	клас шкідливості підприємства, виробнича потужність об'єкта, технологічна спрямованість об'єкта, функціональне навантаження прилеглих земель, вітровий режим, планувальна організація прилеглих земель, рельєф прилеглих територій, гранично допустимі показники різних видів забруднення, використання інноваційних технологій	50-3000 м встановлюють у МД на підставі нормативів	+	+
	будівлі/споруди підприємств (джерела забруднення)	клас підприємства, вид джерела забруднення, потужність джерела забруднення, рельєф прилеглих територій, функціональне навантаження прилеглих земель, планувальна організація земельної ділянки, гранично допустимі показники різних видів забруднення	50-1000 м встановлюють у МД на підставі екологічного паспорта	+	

Спираючись на результати, зазначені в таблиці, усі фактори об'єднано в п'ять основних груп:

- природні;
- екологічні;
- економічні;
- функціонально-планувальні;
- адміністративні.

До природних факторів належать такі: біологічний склад; вітровий режим; геологічні, геоморфологічні та гідрологічні характеристики прилеглих територій та інші природні властивості.

Група екологічних факторів охоплює гранично допустимі показники різних видів забруднення; клас шкідливості об'єкта; потужність джерела забруднення і тип забруднювальних речовин.

Планувальні фактори відображають планувальну організацію земельної ділянки; планувальну організацію прилеглих земель; розміщення відносно поверхні землі. Функціональні – функціональне навантаження прилеглих земель; функціональне призначення об'єкта (промисловість, транспорт, історико-культурна спадщина тощо).

Економічні фактори характеризують технологічну спрямованість і виробничу потужність об'єкта; показник енергетичної ефективності. До цієї групи включено також показник використання інноваційних технологій, завдяки якому може бути зменшений розмір зони обмежень.

До групи адміністративних факторів віднесені категорія, статус та інші ранги, надані під час здійснення адміністративних процедур.

Варто зазначити, що група природних факторів характеризує властивості місцевості, де розміщено об'єкт, на відміну від груп економічних й адміністративних факторів, які характеризують безпосередньо об'єкт, навколо якого формується зона особливого використання земель. Екологічні і функціонально-планувальні фактори характеризують властивості як прилеглих територій, так і безпосередньо об'єкта.

Гранично допустимі показники різних видів забруднення відображають нормативно визначені вимоги до забруднення повітря, ґрунту, води, шумового фону, вібраційного і радіаційного режимів тощо відповідно до об'єкта, навколо якого влаштовують зону обмежень.

У таблиці визначено також можливі варіанти конфігурації зони обмеження у використанні земель – багатокутник чи коло (еліпс) залежно від типу джерела забруднення та його просторових властивостей. З огляду на просторові властивості, всі об'єкти, навколо яких встановлюють обмеження у використанні земель, можуть бути поділені так:

- полігональні;
- лінійні;
- точкові.

Для полігональних об'єктів важливим чинником є планувальна організація та конфігурація земельної ділянки, на якій розміщено джерело забруднення або об'єкт, що охороняється. Від точного визначення меж об'єктів, які формують сукупне джерело забруднення, залежить правильність визначення безпосередньо зони дії обмеження. У випадку лінійних і точкових об'єктів ситуація дещо простіша. Для них важливим є точне визначення місця виходу шкідливих речовин і лінійна протяжність відповідних об'єктів. Зони дії обмеження для точкових і лінійних об'єктів проектують від центру та осі об'єктів відповідно, нехтуючи іншими просторовими характеристиками.

Проведений аналіз свідчить, що розміри зон обмежень встановлюють трьома шляхами:

- чітко визначені в нормативно-правовій базі;
- під час розроблення документації (містобудівної, проектної, із землеустрою тощо)
- на підставі розрахунків.

Формування зон дії обмежень у використанні земель є міждисциплінарним завданням. Визначення розмірів і конфігурації зон обмежень забезпечується в першу чергу екологами та фахівцями з містобудування. Фіксування меж цих зон на місцевості та їх подальша державна реєстрація належать до повноважень фахівців із землеустрою. Процес встановлення меж залежить від конфігурації зони дії обмеження [23].

Існує низка факторів, які мають відношення до встановлення зони обмежень тільки для конкретного об'єкта і є специфічними, наприклад, стан об'єкта культурної спадщини. Вважаємо, що їх узагальнення й уніфікація в даному дослідженні є недоцільними.

Варто зазначити, що такий фактор, як функціональне навантаження прилеглих земель, присутній як впливовий у всіх наведених видах обмежень. Це означає, що зона дії обмеження не може бути відокремленою від навколишнього простору. На наш погляд, саме цей фактор може бути узагальнювальним для правильного розуміння і розроблення методології формування меж зон дії обмежень.

Висновки. У статті проаналізовано чинні нормативно-правові акти України, що регулюють питання визначення розмірів зон різних видів обмежень у використанні земель. Підтверджено, що обґрунтування та визначення зон дії обмежень є міждисциплінарним завданням, яке об'єднує фахівців із містобудування, геодезії, землеустрою, екології тощо. За результатами дослідження встановлено:

1. Усі фактори, які зумовлюють просторові характеристики обмежень, належать до п'яти груп: природні, екологічні, економічні, функціонально-планувальні, адміністративні. Серед них природні характеризують тільки прилеглі території.

2. Особливе місце серед факторів посідає функціональне навантаження прилеглих земель, що є вагомим чинником для більшості видів обмежень. Це доводить безпосередній зв'язок зон обмежень у використанні земель з прилеглим навколишнім середовищем.

3. Зважаючи на особливості проектування меж зон дії обмежень, встановлено, що конфігурація зони обмежень залежить від просторових характеристик джерела забруднення або охорони – полігональні, лінійні або точкові і може бути у вигляді багатокутника або кола (еліпса). Конфігурація зон обмежень у вигляді кола (еліпса) є характерною для точкових об'єктів.

4. Усі зони обмежень у використанні земель, які проаналізовано в дослідженні, можуть бути встановлені трьома шляхами:

- за нормативно-правовою базою;
- під час розроблення документації (містобудівної, проектної, із землеустрою тощо) на підставі екологічних паспортів;
- за розрахунками.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Виробництво* промислової продукції за видами (2013-2016 pp.) [Електронний ресурс] / Державна служба статистики України. – Режим доступу: URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/pr/vr_rea_ovpp/vr_rea_ovpp_u/arh_vppv_u.html.
2. *Реалізація* промислової продукції за видами (2013-2016 pp.) [Електронний ресурс] / Державна служба статистики України. – Режим

доступу: URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/pr/vr_rea_ovpp/vr_rea_ovpp_u/arh_rppvp_u.html.

3. *Порядок* ведення державного земельного кадастру. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 17 жовтня 2012 № 1051 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-%D0%BF>.

4. *Плешкановська А.М.* Місце промислових територій в планувальній структурі крупного міста та напрями їх трансформації (на прикладі м. Києва) [Електронний ресурс] / А.М. Плешкановська, С.П. Бірюк // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. – 2014. – Вип. 37. – С. 263-267. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Spam_2014_37_38.

5. *Дружинін М.А.* Проблеми формування санітарно-захисних зон в плануванні міста [Електронний ресурс] / М.А. Дружинін, А.М. Плешкановська // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. – 2014. – Вип. 35. – С. 237-241. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Spam_2014_35_36.

6. *Дружинін М.А.* Методи оптимізації території санітарно-захисних зон на прикладі міста Вінниці [Електронний ресурс] / М.А. Дружинін, А.М. Плешкановська // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. – 2015. – Вип. 39. – С. 201-205. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Spam_2015_39_29.

7. *Бірюк С.П.* Містобудівні фактори та критерії вибору напрямів реконструкції промислових територій [Електронний ресурс] / С.П. Бірюк // Сучасні проблеми архітектури та містобудування. – 2013. – Вип. 32. – С. 263-270. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Spam_2013_32_41.

8. *Мамонов К.А.* Класифікація просторових факторів, які впливають на вартість земель мегаполісу [Електронний ресурс] / К.А. Мамонов, Е.С. Штерндок // Комунальне господарство міст. Серія : Технічні науки та архітектура. – 2017. – Вип. 134. – С. 138-142. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/kgm_tech_2017_134_26.

9. *Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів:* ДСП 173-96. – Київ: МОЗ України, 2002. – 59 с.

10. *Закон України Про природно-заповідний фонд: прийнятий 16.06.1992 № 2456-XII.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-%D0%BF>.

11. *Закон України Про охорону культурної спадщини: прийнятий 08.06.2000 № 1805-III.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1805-14>.

12. *Закон України Про транспорт: прийнятий 10.11.1994 № 232/94.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/232/94-%D0%B2%D1%80>.

13. *Правила охорони магістральних трубопроводів.* Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 16.11.2002 № 1747 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1747-2002-%D0%BF>.

14. *Правила охорони ліній електрозв'язку*. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 29.01.1996 № 135 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/135-96-%D0%BF>.

15. *Правила охорони електричних мереж*. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 04.03.1997 № 209 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/209-97-%D0%BF>.

16. *Порядок встановлення охоронних зон навколо об'єктів, призначених для гідрометеорологічних спостережень та інших видів гідрометеорологічної діяльності та видів їх використання*. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 11.12.1999 № 2262 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2262-99-%D0%BF>.

17. *Єдині правила ремонту і утримання автомобільних доріг, вулиць, залізничних переїздів, правил користування ними та охорони*. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 30.03.1994 № 198 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/198-94-%D0%BF>.

18. *Закон України Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність: прийнятий 23.12.1998 № 353-XIV* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/353-14>.

19. *Правовий режим зон санітарної охорони водних об'єктів*. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 18.12.1998 № 2024 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2024-98-%D0%BF>.

20. *Закон України Про охорону атмосферного повітря: прийнятий 16.10.1992 № 2707-XII* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2707-12>.

21. *ДБН 360-92***: Державні будівельні норми. Містобудування. Планування та забудова міських та сільських поселень. – Київ: Держбуд України, 2002. – 114 с.

22. *Петраковська О.С.* Девелопмент нерухомості та сталий розвиток міст [Текст]: навч. посіб. / О.С. Петраковська, Ю.О. Тацій – Київ: Кий, 2015. – 504 с.

23. *Ryabchii V. A.* Substantiation of land parcel configuration in buffer zones [Text] / V. A. Ryabchii, V. V. Ryabchii, M.V. Trehub, Y.Y. Trehub // Scientific Bulletin of National Mining University. – 2017. – Issue 4. – P. 80-85.

REFERENCES

1. *Virobnitstvo promislovoyi produktsiyi za vidami (2013-2016)*. [Production of industrial products by species (2013-2016)]. *Derzhavna sluzhba statistiki Ukrayini – State Statistics Service of Ukraine*. – Retrieved from http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/pr/vr_rea_ovpp/vr_rea_ovpp_u/ar_h_vppv_u.html [in Ukrainian].

2. *Realizatsiya promislovoyi produktsiyi za vidami (2013-2016)*. [Realization of industrial production by types (2013-2016)]. *Derzhavna sluzhba statistiki Ukrayini – State Statistics Service of Ukraine*. – Retrieved from

http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2016/pr/vr_rea_ovpp/vr_rea_ovpp_u/arh_rppvp_u.html [in Ukrainian].

3. Postanova “Poryadok vedennya derzhavnogo zemelnogo kadastru”. [Decree “Procedure for conducting state land cadaster”]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-%D0%BF> [in Ukrainian].

4. Pleshkanovska, A.M., & Biryuk, S.P. (2014). Mistse promisloviy teritoriy v planuvanni struktur krupnogo mista ta napryami yih transformatsiyi (na prikladi m. Kiev) [The place of industrial territories in the planning structure of a large city and the directions of their transformation (for example, m. Kyiv)]. *Suchasni problemi arhitekturi ta mistobuduvannya – Modern Problems of Architecture and Urban Development*, 37, 263-267 [in Ukrainian].

5. Druzhinin, M.A., & Pleshkanovska, A.M. (2014). Problemi formuvannya sanitarno-zahisnih zon v planuvanni mista [Problems of formation of sanitary protection zones in city planning]. *Suchasni problemi arhitekturi ta mistobuduvannya – Modern Problems of Architecture and Urban Development*, 35, 237-241 [in Ukrainian].

6. Druzhinin, M.A., & Pleshkanovska, A.M. (2015). Metodi optimizatsiyi teritoriyi sanitarno-zahisnih zon na prikladi mista Vinnitsi [Methods of optimizing the territory of sanitary protection zones on the example of the city of Vinnytsia]. *Suchasni problemi arhitekturi ta mistobuduvannya – Modern Problems of Architecture and Urban Development*, 39, 201-205 [in Ukrainian].

7. Biryuk, S.P. (2013). Mistobudivni faktori ta kriteriyi viboru napryamiv rekonstruktsiyi promisloviy teritoriy [Town-planning factors and criteria for selecting areas for the reconstruction of industrial areas]. *Suchasni problemi arhitekturi ta mistobuduvannya – Modern Problems of Architecture and Urban Development*, 32, 263-270 [in Ukrainian].

8. Mamonov, K.A., & Shterndok E.S. (2017). Klasifikatsiya prostoroviy faktoriv, yaki vplivayut na vartist zemel megapolisu [Classification of spatial factors that affect the cost of land in the metropolis]. *Komunalne gospodarstvo mIst. SerIya: TehnIchnI nauki ta arhitektura. – Municipal economy of cities. Series: Engineering and Architecture*, 134, 138-142 [in Ukrainian].

9. DSP 173-96 (2002). *Derzhavni sanitarni pravila planuvannya ta zabudovi naselenih punktiv* [State sanitary rules for planning and building settlements]. Kiev: Ministry of Health of Ukraine [in Ukrainian].

10. Zakon Ukrayini “Pro prirodno-zapovidniy fond” [Law of Ukraine “On the nature reserve fund”]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-%D0%BF> [in Ukrainian].

11. Zakon Ukrayini “Pro ohoronu kulturnoyi spadschini” [Law of Ukraine “On the Protection of the Cultural Heritage”]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/1805-14> [in Ukrainian].

12. Zakon Ukrayini “Pro transport” [Law of Ukraine “About transport”]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/232/94-%D0%B2%D1%80> [in Ukrainian].

13. Postanova “Pravila ohoroni magistralnih truboprovodiv”. [Decree “Rules for the protection of main pipelines”]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/232/94-%D0%B2%D1%80> [in Ukrainian].

14. Postanova “Pravila ohoroni liniy elektrozv’yazku”. [Decree “Rules for the protection of telecommunication lines”]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/135-96-%D0%BF> [in Ukrainian].

15. Postanova “Pravila ohoroni elektrichnih merezh” [Decree “Rules for the protection of electric network”]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/209-97-p> [in Ukrainian].

16. Postanova Poryadok vstanovlennya ohoronnih zon navkolo ob’EktIv, pryznacheni dlya gIdrometereologIchnih sposterezhen ta Inshih vidIv gIdrometeorolIchnoYi dIyalnostI ta vidIv Yih vikoristannya. [Decree The procedure for the establishment of security zones around objects intended for hydrometeorological observations and other types of hydrometeorological activity and their use]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2262-99-%D0%BF> [in Ukrainian].

17. Postanova “EdinI pravila remontu I utrimannya avtomobilnih dorIg, vulits, zalIznichnih pereYizdIv, pravil koristuvannya nimi ta ohoroni”. [Decree “Uniform Rules repair and maintenance of roads, streets, railway crossings, rules of their use and protection”]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/198-94-%D0%BF> [in Ukrainian].

18. Zakon Ukrayini “Pro topografo-geodezichnu i kartografichnu diyalnist” [Law of Ukraine “On topographic and geodetic and cartographic activity”]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/353-14> [in Ukrainian].

19. Pravoviy rezhim zon sanItarnoYi ohoroni vodnih ob’EktIv. [The legal regime of sanitary protection zones of water bodies]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2024-98-%D0%BF> [in Ukrainian].

20. Zakon Ukrayini “Pro ohoronu atmosferного povitrya” [Law of Ukraine “About the protection of atmospheric air”]. (n.d.). *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2707-12> [in Ukrainian].

21. Mistobuduvannya. Planuvannya ta zabudova miskih ta silskih poselen [Town planning. Planning and building urban and rural settlements]. (2002). *DBN 360-92*** Kyiv: Ministry of Regional Development and Construction of Ukraine [in Ukrainian].

22. Petrakovska, O.S., & Tatsiy, Yu.O. (2015). *Development neruhomosti ta staliyi rozvitok mIst [Real Estate Development and Sustainable Urban Development]*. Kyiv: Vidavnicхий dim “Kiy” [in Ukrainian].

23. Ryabchii, V. A., & Ryabchii, V. V., & Trehub, M.V., & Trehub, Y.Y. (2017). Substantiation of land parcel configuration in buffer zones. *Scientific Bulletin of National Mining University*, Issue 4, 80-85.

О.С. Петраковская, Ю.Е. Трегуб

**СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ОПРЕДЕЛЕНИЕ
РАЗМЕРОВ ОГРАНИЧЕНИЙ В ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЗЕМЕЛЬ**

Проанализированы действующие нормативно-правовые акты Украины и научные публикации с целью определения и систематизации факторов, влияющих на размер зон ограничений в использовании земель в Украине. Факторы

сгруппированы в зависимости от вида соответствующего ограничения. Такой подход позволил осуществить переход к еще более укрупненной классификации на природные, экологические, экономические, функционально-планировочные и административные группы. С учетом размера зоны действия ограничения классифицированы возможные виды их конфигурации.

Ключевые слова: зона ограничения в использовании земель, пространственные характеристики зоны ограничения, факторы, управление земельными ресурсами.

O. Petrakovska, Yu. Trehub

SYSTEMATIZATION OF FACTORS AFFECTING DEFINITION OF BUFFER ZONES

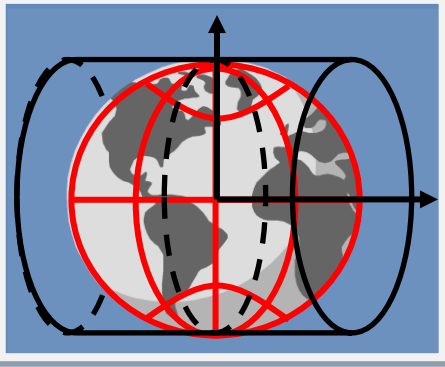
The existing regulatory legal acts of Ukraine and scientific publications have been analyzed to determine and systematize the factors that influence the size of zones of restrictions in the use of land in Ukraine. Based of them and research of scientists, the factors are grouped in a table, depending on the type of the relevant zone of restrictions. According to the type of the object that makes harmful effect on the neighbor areas or needs to be protected because of special characteristics, was implemented more consolidated classification for natural, ecological, economic, functional-planning and administrative groups of factors. Due to the size of the restricted area, the possible types of their configuration are classified. Taking into account the peculiarities of designing the boundaries of the zones of restrictions, was established that the configuration of the zone of restrictions depends on the spatial characteristics of the source of pollution or protection. Based on this fact, for polygonal, linear or dotted objects buffer zones may form a polygon and a circle (ellipse) configuration. The configuration of buffer zones in the form of a circle (ellipse) is determined for point objects.

All zones of restrictions in the use of land that are analyzed in the reasearch can be established in three ways – the regulatory framework, the development of documentation (urban planning, design, land management, etc.) based on environmental passports and calculations.

Key words: restricted area in land use, buffer zone, spatial characteristics of the restricted zone, factors, land management.

Надійшла до редакції

09.04.2018



ГЕОІНФОРМАТИКА І КАРТОГРАФІЯ

УДК 528.48

А. А. Лященко, *д-р техн. наук, професор,*

Ю. С. Максимова, *аспірант*

кафедра геоінформатики та фотограмметрії

Київський національний університет будівництва і архітектури

ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ УМОВНИХ КАРТОГРАФІЧНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПІДГОТОВКИ МІСТОБУДІВНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ В ГІС

Сформульовано вимоги до системи умовних позначень картографічної складової документації містобудівної документації. Запропоновано систему кодування умовних позначень для встановлення чіткого зв'язку між символами системи умовних позначень та кожним об'єктом містобудівної документації. Розглянуто класифікацію умовних позначень і засобів їх реалізації в геоінформаційних системах, на основі якої виконано оцінювання складності реалізації умовних позначень в геоінформаційних системах.

Ключові слова: геоінформаційні системи, містобудівна документація, система умовних позначень, містобудівний кадастр.

Вступ. Картографічна складова є однією з основних у містобудівній документації (МБД), що стосується просторового планування території, починаючи від Генеральної схеми планування території України, схем планування території областей, районів, об'єднаних територіальних громад, генеральних планів населених пунктів і закінчуючи планами забудови окремих земельних ділянок.

Сучасні технології просторового планування ґрунтуються на широкому застосуванні геоінформаційних систем (ГІС) для оцінювання стану використання території, моделювання напрямів і варіантів її розвитку в просторово-часовому вимірі, автоматизації випуску містобудівної документації, в складі якої поміж інших основних даних в контексті розгляданої теми виділяються набори профільних геопросторових даних (НПГД) та пов'язані з ними картографічні документи (КД), що містять відповідно геоінформаційні та картографічні моделі подання прийнятих планувальних рішень.

Можна констатувати, що саме ці технологічні новації в просторовому плануванні зумовлюють актуальність завдань з розвитку методичних підходів до

уніфікації системи умовних позначень (СУП) для картографування об'єктів в містобудівній документації з урахуванням як загальних вимог і принципів картографічного моделювання, так й ефективності їх реалізації в середовищі в ГІС.

Аналіз останніх публікацій та постановка завдання. В сучасних публікаціях і нормативних документах розглянуто такі питання створення системи умовних позначень як складової технології формування містобудівної документації в ГІС:

- сформульовано системні вимоги до подання МБД в цифрових форматах [4]; поміж іншого наголошено на необхідності створення системи умовних графічних позначень зі способами (стилями) візуалізації об'єктів для різних цілей та відповідно до їх життєвого циклу;
- запропоновано системи класифікації об'єктів містобудування та їх умовних позначень на електронних картах в складі містобудівної документації [1];
- розглянуто бібліотеку параметричних засобів відображення об'єктів в умовних картографічних знаках з урахуванням контексту теми карти [5]; графічні і текстові компоненти умовного картографічного знака проаналізовано з погляду їх реалізації засобами комп'ютерної графіки;
- у ДСТУ Б Б.1.1-17:2013 «Умовні позначення графічних документів містобудівної документації» (далі – ДСТУ) [2] визначено основні умовні позначення залежно від виду містобудівної документації, змісту та масштабу картографічних документів.

Система умовних позначень, запропонована в ДСТУ, не повною мірою відображає особливості методів і засобів реалізації бібліотеки СУП у ГІС, що ускладнює її застосування як основи для уніфікації проектів цифрових карт і графічних матеріалів МБД у ГІС. Виникає потреба у вирішенні таких завдань: розроблення системи кодування умовних позначень для їх однозначної ідентифікації та логічного зв'язку з типами об'єктів містобудування в наборах профільних геопросторових даних; удосконалення умовних позначень відповідно до засобів їх реалізації в ГІС та гармонізації з системами умовних позначень, що використовуються в практиці країн Європейського Союзу.

Виклад основної частини. СУП об'єктів містобудування можна визначити як уніфіковану систему, у якій реалізовано фундаментальні принципи подання інформації картографічною мовою з метою однозначної візуальної ідентифікації об'єктів на графічних документах МБД. Така система має мінімально забезпечувати:

1. Ефективну прагматику знаків для однозначного і простого розрізнення класів об'єктів містобудування відповідно до стадій їх життєвого циклу.
2. Чітке розрізнення картографічного подання властивостей об'єктів за будь-якого способу тиражування документів.
3. Наочне подання містобудівних рішень у всіх масштабах картографічних документів, що передбачені нормативними документами.
4. Автоматизоване формування моделей цифрових карт на основі інформаційних моделей об'єктів у базах геопросторових даних ГІС.

5. Реалізацію зображення умовних позначень в ГІС з мінімальними витратами на програмування додаткових функцій формування та візуалізації електронних карт.

Перша вимога – ефективна прагматика знаків – може бути досягнута на основі використання правил картографічного подання елементів умовними позначеннями, які забезпечуватимуть легке однозначне розрізнення типів об'єктів і стадій їх життєвого циклу. Модель об'єктів електронної карти, в якій відображають об'єкти місцевості в базі геопросторових даних (БГД), має містити сукупність графічних і текстових компонент умовних картографічних позначень [4; 5]. Кожному умовному картографічному знаку можна поставити у відповідність дві ідеограми – по одній для його графічної та текстової складових.

Метод подання ідеограм як функції від графеми та домінант (Ідеограма = Графема + (Домінанта1+Домінанта2+...+ДомінантаN)) визначає основу правил формування умовних знаків з чіткою прагматикою, яка забезпечує однозначну ідентифікацію класів об'єктів та їх станів на картографічній моделі.

Для графічної ідеограми графеми визначають спосіб накреслення умовного знака залежно від класу об'єкта і типу його просторової локалізації в контексті масштабу відображення. Графема задає основне правило візуального уявлення умовного знака, його геометрію, відповідну просторовому положенню об'єкта і типу просторової локалізації в контексті масштабу відображення.

Домінанти графічної ідеограми визначають модифікацію візуальних атрибутів графеми залежно від теми карти й атрибутів об'єкта (наприклад, вид комунальних територій, стадія життєвого циклу об'єкта та ін.), тобто вони доповнюють умовний знак візуальними характеристиками. Домінанти обирають з множини графічних атрибутів (тип, товщина, колір ліній, спосіб заповнення площинних об'єктів, колір тла, прозорість, тип маркерів для точкових знаків, їх розміри й орієнтація тощо).

Аналогічні визначення справедливі також і для ідеограми текстової компоненти умовного знака, в якій графема визначає форму подання текстової компоненти, а домінанти визначають візуальні властивості цієї форми залежно від теми карти або стану моделі об'єкта в базі даних чи від відображення доступності певних атрибутів об'єкта для редагування.

Дотримання другої та третьої вимоги до СУП має забезпечуватися реалізацією правил картографічного подання об'єктів, визначених для першої вимоги. Зазначимо, що важливість розрізнення (впізнання) об'єктів містобудування за будь-якого способу тиражування (чорно-білого, кольорового) не втрачає своєї актуальності, оскільки випущена документація в подальшому може використовуватись в селах, районах громадянами або установами з обмеженими технічними можливостями копіювання документації.

Четверта вимога до СУП означає формування технології створення цифрових карт на основі наборів геопросторових даних містобудівних об'єктів шляхом визначення бази метаданих з описом властивостей зв'язків між класами об'єктів БГД, їх атрибутами та умовними картографічними знаками, атрибутами і домінантами відповідно до ролі класу об'єкта (цільовий, допоміжний, фоновий) в контексті певної схеми.

Для опису в базі метаданих зазначених зв'язків доцільно запровадити систему кодування умовних позначень для однозначної ідентифікації умовних знаків на множині властивостей, що описують ці зв'язки. Як основу системи кодування умовних позначень можна використати затверджений перелік класів об'єктів містобудівного кадастру [6] та проект каталогу класів об'єктів МБК, що забезпечує відображення основних ознак містобудівних об'єктів (атрибутів класів) у кодовому позначенні умовного знака. Таким чином, для кожного об'єкта містобудівної документації встановлюється чіткий зв'язок із символом (символами) системи умовних позначень.

Найгнучкішою системою кодування умовних позначень з погляду кількості груп властивостей, що становлять її базис, та можливості її розширення з появою нових класів об'єктів чи додаткових стилів їх відображення є фасетно-позиційна структура кодування, яка складається з шести фасет і може бути подана у вигляді такої послідовності кодових ознак:

<код класу>:<код утворюючого домінантного атрибута>:<значення утворюючого домінантного атрибута>:<код стадії життєвого циклу об'єкта>:<код форми подання><код діапазону масштабу>,

де *<код класу>* – код класу об'єктів МБК, для якого подано умовне позначення; *<код утворюючого домінантного атрибута>* – код атрибута в каталозі класів об'єктів МБК, який є системноутворюючим для класифікації умовних позначень; *<значення утворюючого атрибута>* – значення атрибута згідно з класифікатором каталогу класів об'єктів МБК; *<код стадії життєвого циклу об'єкта>* – згідно з класифікатором каталогу класів об'єктів МБК (існуючий, проектний, підлягає реконструкції, підлягає знесенню тощо); *<код форми подання>* – код ознаки типу просторової локалізації (точка, лінія, полігон); *<код діапазону масштабу>* – код діапазону масштабу використання умовного позначення.

У пропонованій системі кодифікації, наприклад, код для умовного позначення «Територія житлової садибної забудови існуюча» матиме такий вигляд: 020201:09:01:01:03:01, де 020201:09 – код класу об'єкта «Територія житлової забудови» та код утворюючого домінантного атрибута «Тип житлової забудови» згідно з каталогом класів МБК; 01 – код значення атрибута «Тип житлової забудови», що відповідає значенню «Садибна забудова» згідно з каталогом класів об'єктів МБК; 01 – код значення атрибута «Код стадії життєвого циклу об'єкта», відповідний значенню «Існуючий»; 03 – код форми подання умовного позначення згідно з класифікатором «Форма подання умовних позначень», що відповідає значенню «полігон»; 01 – код діапазону масштабу, відповідний масштабам в ряді від 1:500 до 1: 10000.

СУП має бути орієнтована на реалізацію позначень у цифровому вигляді засобами ГІС як цілісних елементів, а не окремих графічних примітивів, якими вони можуть бути подані, наприклад, у процесі підготовки документації в системі AutoCad. Для оцінювання складності реалізації в ГІС існуючої системи умовних позначень за ДСТУ [2] виконаємо їх класифікацію за типовими графічними стилями, методами і засобами їх підтримання в ГІС (рис. 1).



Рис.1. Класифікація умовних позначень та засобів їх реалізації в ГІС

Засоби реалізації умовних позначень класифіковано на підставі результатів аналізу бібліотек умовних позначень у середовищах сучасних інструментальних ГІС [7 – 9]. Зокрема, виділено такі засоби реалізації УП: стандартний набір засобів створення УП на основі використання стандартних графічних примітивів й атрибутів їх візуалізації: заповнення кольором/штриховкою об'єкта, визначення типу лінії або контуру об'єкта, використання стандартних геометричних фігур або елементів; засоби стандартного розширення з використанням додаткових елементів налаштування УП, таких як шрифти, svg-маркери тощо; використання мови програмування.

Для реалізації складних умовних позначень стандартних засобів, що пропонують ГІС, не достатньо. Такі умовні позначення можна назвати функціонально керованими, оскільки для їх створення (реалізації) залучаються мови програмування. Прикладом такого умовного позначення може бути «Виробнича будівля (споруда) існуюча» (рис. 2) [2].



Рис. 2. Умовне позначення «Виробнича будівля (споруда) існуюча»

Подання цього УП графічними примітивами можна описати як функцію U_p :

$$U_p = \{l, c, f, k\},$$

де U_p – умовне позначення; l – контур знака, який для умовного позначення «Виробнича будівля (споруда) існуюча» подається як такий набір характеристик: $l = \{\text{суцільна лінія, 0,2 мм, чорного кольору (RGB (0,0,0))}\}$; c – центроїд полігону об'єкта, який для умовного позначення «Виробнича будівля (споруда) існуюча» подається як такий набір характеристик: $c = \{\text{стандартний тип маркера, коло діаметром 2 мм, чорного кольору (RGB (0,0,0))}\}$; f – заповнення полігону, яке для умовного позначення «Виробнича будівля (споруда) існуюча» подається як набір характеристик: $f = f_1(0,5 * \text{геометрія})a + f_2(0,5 * \text{геометрія})b$, $a = \{\text{залівка суцільна, біла (RGB (255,255,255))}\}$, $b = \{\text{лінійна штриховка, суцільна лінія, 0,2 мм товщина, 0,7 мм відстань між лініями, 30\%-й нахил лінії, чорний колір (RGB (0,0,0))}\}$; k – лінія, що проходить через центр об'єкта, розділяючи його навпіл, $k = \{\text{суцільна лінія, 0,2 мм, чорного кольору (RGB (0,0,0))}\}$.

Для подання УП «Виробнича будівля (споруда) існуюча» як цільного знака (символу) в ГІС, потрібно визначати функціональні залежності заповнення частини умовного позначення від геометрії контуру об'єкта.

Можливості реалізації УП різного геометричного типу через стандартний набір засобів та засоби стандартного розширення в табл. 1 подано як матрицю відношення картографічних об'єктів до графічних примітивів та їх атрибутів засобів реалізації.

Таблиця 1

Матриця відношення умовних позначень за геометричним типом та типів графічних примітивів, яким вони можуть бути реалізовані

Типи графічних примітивів/атрибути візуалізації	Види умовних позначень за геометричним типом		
	точкові	лінійні	площинні
маркер			
- стандартний тип (орієнтація, масштаб, колір)	+	+	+
- на основі масштабованих шрифтів (орієнтація, масштаб, колір)	+	+	+
- векторні символи, зокрема на основі графічних символів SVG (орієнтація, масштаб, колір)	+	+	+
- растрове зображення (орієнтація, масштаб)	+	+	
лінія			
- стандартна (тип - штрихова, суцільна тощо, товщина, колір, зміщення, за шаблоном)		+	+
- штрихова (тип - штрихова, із можливістю визначення довжини, товщини штрихів та відстані між ними, зміщення)		+	
- нестандартна (маркерна)			
тип заповнення (суцільна заливка кольором, градієнтна заливка, заповнення маркерами, лінійна штриховка, за матричним шаблоном (за шаблоном, растровим зображенням))			+
тип контуру (суцільна, штрихова, маркерна лінії)			+
центроїд (в основі лежить маркер)			+

На основі наведеної структуризації можна оцінити складність реалізації умовних позначень графічних документів містобудівної документації місцевого

рівня за ДСТУ [2] (табл. 2). Загальна кількість розглянутих умовних позначень – 390, з яких 127 – точкових, 119 – лінійних, 132 – площинних.

Таблиця 2

Характеристика складності реалізації засобами ГІС системи умовних позначень в містобудівній документації місцевого рівня

Вид умовного позначення за геометричним типом			
	Стандартний набір	Засоби стандартного розширення	Складні УП (функціонально керовані)
Точковий	57%	35%	8%
Лінійний	91%	7%	2%
Масштабний	15%	68%	17%

Найбільший відсоток УП, що потребують для реалізації застосування функціонально керованих засобів, припадає на масштабні умовні позначення, а саме групу «Будівлі та споруди». Ці умовні позначення в ДСТУ [2] більше адаптовані до ручного креслення або реалізації як окремі графічні примітиви, а не як цілісні елементи.

На основі практичної реалізації умовних позначень МБД місцевого рівня можна сформулювати такі узагальнені рекомендації:

а) система умовних позначень має бути узгоджена з типом просторової локалізації для всіх класів об'єктів містобудування. Визначені типи геометричного подання УП в ДСТУ не завжди відповідають типу просторової локалізації, з використанням яких об'єкти подають в БД МБК. Наприклад, кордони та межі адміністративно-територіальних одиниць подано як лінійні УП, а в БД МБК об'єкти цих територій подаються як полігони, що реально відповідає змісту об'єктів;

б) потрібне введення єдиного правила, яке б передавало стадії життєвого циклу об'єктів (існуючий, проєктований, підлягає реконструкції тощо) та забезпечувало розрізнення стадій незалежно від типу об'єктів. За ДСТУ стадія життєвого циклу відображається в умовних позначеннях через зміну типу штриховки, зміну інтенсивності та / або кольору заповнення об'єкта тощо;

в) потрібна єдина система кодування УП в межах усього набору умовних позначень;

г) для забезпечення чіткої системи ідентифікації знаків для всіх умовних позначень мають бути визначені типи графічних примітивів й атрибути візуалізації, взаємне положення графічних примітивів у складі багатопланового умовного позначення;

д) СУП має покривати всі об'єкти містобудування, зокрема визначені затвердженим переліком класів об'єктів містобудівного кадастру (далі – Перелік) [6]. Наприклад, у групі «Об'єкти території» неохопленими залишаються складські території, змішана забудова, резервні території, озеленені території обмеженого користування, підгрупа «території громадської забудови», що покривається УП частково;

е) потрібна гармонізація системи умовних позначень з технічними специфікаціями інфраструктури географічної інформації країн Європейського

Союзу INPIRE [10], тематичні розділи яких безпосередньо стосуються тематики містобудівної діяльності, зокрема: функціональне зонування територій та зонінг (*Data Specification on Land Use – Technical Guidelines*); зони можливих надзвичайних ситуацій природного характеру (*Data Specification on Natural Risk Zones – Technical Guidelines*); зони планувальних обмежень (*Data Specification on Area Management/Restriction/Regulation Zones and Reporting Units – Technical Guidelines*); сільськогосподарські та водні об'єкти (*Data specification on agricultural and aquaculture facilities*); будівлі (*Data Specification on Buildings – Technical Guidelines*); рослинний покрив (*Data Specification on Land cover – Technical Guidelines*) тощо. Кожна специфікація містить розділ «Зображення» (*Portrayal*), де для кожного просторового об'єкта пропонується умовне позначення, для якого надається кодове позначення; назва природною мовою; детальний опис стилю (колір, товщина лінії, штриховка, заливка тощо); посилання на розділ специфікації, де описано об'єкт, для якого подається УП; посилання на xml-файл з описом умовного позначення; діапазон масштабів, для яких використовується умовне позначення. Для кожного умовного позначення при цьому встановлюється чіткий зв'язок з класом об'єкта або його підтипом (згідно з визначеною в специфікації класифікацією). Система умовних позначень INPIRE, по-перше, покриває значну частину умовних позначень, які використовуються в містобудівній документації України, по-друге, вона може стати основою та прикладом формалізованого подання умовних позначень в СУП.

Висновки. Визначено набір вимог до СУП та методику їх реалізації для забезпечення однозначної візуальної ідентифікації об'єктів в картографічних документах у складі містобудівної документації, що розробляється з використанням сучасних ГІС. Важливо, щоби система умовних знаків охоплювала всі об'єкти містобудування за переліком класів об'єктів містобудівного кадастру та інших нормативних документів; забезпечувала однозначну відповідність геометричного типу умовних позначень геометричному поданню об'єктів в базах даних наборів профільних геопросторових даних об'єктів містобудування. Безперечно, умовні позначення мають максимально спиратися на можливість їх реалізації стандартними засобами сучасних інструментальних ГІС без залучення додаткових засобів програмування.

Доцільно вирішити питання гармонізації системи картографічних умовних позначень, застосовуваних у містобудівній документації, із специфікаціями INPIRE як одного із шляхів інтегрування України в міжнародний геоінформаційний простір.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Айлікова Г. В. Система класифікації та умовних позначень об'єктів для містобудівної документації / Г. В. Айлікова, В. В. Янчук // Містобудування та територіальне планування. – 2013. – № 47. – С. 37 – 46.
2. ДСТУ Б Б.1.1-17:2013: Умовні позначення графічних документів містобудівної документації. – Київ: Мінрегіон України, 2013. – 181 с.

3. *Лященко А. А.* Інфраструктурний підхід до створення сучасної системи містобудівного кадастру / А. А. Лященко, Ю. В. Кравченко, Д. В. Горковчук // Вісник геодезії та картографії. – 2014. – № 6 (93). – С.21 – 27.
4. *Лященко А. А.* Концептуальна модель інтелектуального сервера інтерактивних електронних карт розподіленої ГІС / А. А. Лященко // Інженерна геодезія. – 2004. – № 50. – С. 145 – 152.
5. *Сингаївська О.І.* Містобудівна графіка / За заг. ред. М. Дьоміна. – Київ: НДІТІАМ. – 1998. – 176 с.
6. *Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 14.08.2015 № 193, зареєстрований у Мін'юсті 23 жовтня 2015 р. за № 1293/27738 «Про затвердження Переліку класів об'єктів містобудівного кадастру».* – Київ: Мінрегіон, 2015. – 8 с.
7. *Редактирование стилей линий MapInfo. Программа Line Style Editor (MILISTED).* – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://glab2007.narod.ru/a/lstyle.html>.
8. *Сайт* програмного засобу ArcGIS Desktop [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/map/styles-and-symbols/what-are-symbols-and-styles-.htm>.
9. *Сайт* програмного засобу QGIS [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://docs.qgis.org/1.8/ru/docs/user_manual/working_with_vector/vector_properties.html.
10. *Сайт* директиви INSPIRE [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://inspire.ec.europa.eu/>.

REFERENCES

1. Ailikova, H. V. & Yanchuk, V. V (2013). Systema klasifskatsii ta umovnyh poznachen obektiv dliia mistobudivnoi dokumentatsii [System of classification and objects symbols for urban planning documentation]. *Mistobuduvaniia ta teritorialne planuvannia – Urban and territorial planning*, 47, 37 – 46 [in Ukrainian].
2. Umovni poznachennia grafichnyh dokumentiv mistobudivnoi dokumentatsii [Conditional symbols of urban planning documentation graphic documents]. (2013). Kyiv: Minregion Ukraina [in Ukrainian].
3. Lyashchenko, A. A. & Kravchenko, Yu. V. & Gorkovchuk D. V. (2014). Infrastrukturniy pidhid do stvorennia suchasnoi systemy mistobudivnoho kadastru [Infrastructure approach to the creation of urban cadastre modern system]/ *Visnek geodezii ta kartografii - Journal of Geodesy and Cartography*, 6 (93), 21 – 27 [in Ukrainian].
4. Lyashchenko, A. A. (2004). Kontseptualna model intelektualnoho servera interaktyvnyh elektronnyh kart rozpodilenoї GIS [The conceptual model of the interactive electronic maps intelligent server of distributed GIS]/ *Ingenerna heodezia - Engineering geodesy*, 50, 145 – 152 [in Ukrainian].
5. Synhaivska, O. I. (1998). *Mistobudivna graphica [Urban graphics]*. Kyiv: NDITIAM [in Ukrainian].
6. Nakaz «Pro zatverdgenia pereliku klasiv obektiv mistobudivnoho kadasru» zareyestrovanyi Ministerstvom Rehionalnoho Rozvytku, budivnutstva ta gytlovo-

hospodarskoho kompleksu vid 14.08.2015 № 193 [Order «About approving the list of urban cadastre objectsclasses» from 14.08.2015 № 193, of the Ministry of Regional Development, Construction, Residential and Communal Services of Ukraine from 14.08.2015 № 193]. [in Ukrainian].

7. Redaktirovanie stiley liniy MapInfo. Programma Line Style Editor (MILISTED) [Editing line styles in MapInfo.Program Line Style Editor (MILISTED)] – Retrieved from <http://glab2007.narod.ru/a/lstyle.html> [in Ukrainian].

8. Sait prohramnoho zasoby ArcGIS Desktop [Site of program ArcGIS Desktop]. Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/map/styles-and-symbols/what-are-symbols-and-styles-.html> [in Russian].

9. Sait prohramnoho zasoby QGIS [Site of program QGIS]. Retrieved from http://docs.qgis.org/1.8/ru/docs/user_manual/working_with_vector/vector_properties.html [in Russian].

10. Sait dyrectyvy INSPIRE [Site of directive INSPIRE]. Retrieved from <https://inspire.ec.europa.eu/> [in English].

А. А. Лященко, Ю. С. Максимова

ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ УСЛОВНЫХ КАРТОГРАФИЧЕСКИХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОДГОТОВКИ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В ГИС

Сформулированы требования к системе условных обозначений картографической составляющей документации градостроительной документации. Предложена система кодирования условных обозначений, которая устанавливает четкую связь между символами системы условных обозначений и каждым объектом градостроительной документации. Рассмотрена классификация условных обозначений и средств их реализации в геоинформационных системах, на основе которой выполнена оценка сложности реализации условных обозначений в геоинформационных системах.

Ключевые слова: геоинформационные системы, градостроительная документация, система условных обозначений, градостроительный кадастр.

A. Lyashchenko, Yu. Maksymova

WAYS OF IMPROVING THE SYSTEM OF CONDITIONAL CARTOGRAPHIC SYMBOLS FOR AUTOMATIZATION OF URBAN PLANING DOCUMENTATION PREPARATION IN GIS

Requirements for the cartographic component map symbols system of the urban planning documentation are formulated. A coding system for map symbols, which establishes a clear link between the symbols of the map symbol system and each object of urban planning documentation, is proposed. The proposed symbols coding system is based on a facet-position coding structure that makes it flexible in terms of the number of group of properties that make up its basis and its expansion possibilities with the emergence of new classes of objects or additional styles of reflection. The classification of map symbols and their means of implementation in geoinformation systems,

including a matrix of map symbols relations after the geometric type and types of graphic primitives through which they can be realized, are considered. The implementation complexity of map symbols in geoinformation systems based on made classification is carried out and general guidances based on the made research about development of a symbols system are given.

Key words: *geoinformation systems, urban planning documentation, system of map symbols, urban cadastre.*

Надійшла до редакції

23.03.2018

УДК 910:004.65+004.8:625.7

Т.В. ГУЦУЛ, асист.

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

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ПРОГРАМНО-АПАРATНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ

У статті розглянуто технічні аспекти та принципи створення програмного засобу, спрямованого на планування оптимальних транспортних потоків дорожньої мережі з використанням різноманітних шарів геопросторових даних. Розглянуто моменти підготовки й організації вихідних даних, їх подальшої інтеграції, принципи функціонування математичної моделі, виведення та візуалізації даних. Побудовано і пояснено UML-діаграму методу геоінформаційної мультиагентної оптимізації планування транспортних потоків дорожньої мережі та користувацького інтерфейсу.

Ключові слова: *ГІС, мультиагентна оптимізація, мурашиний метод, планування доріг, транспортні потоки, UML.*

Вступ. Розвиток обчислювальних потужностей персональних комп'ютерів зумовив масове зростання популярності пошукових запитів, пов'язаних з нейронними мережами. Такі тенденції пояснюються наявністю великої множини завдань з наперед обмеженою кількістю даних чи відсутністю очевидних зв'язків між ними для подальшого розв'язання за допомогою традиційних експертних систем чи систем підтримки прийняття рішень. Водночас нейронні мережі розпізнають не надто зрозумілі для людей моделі й адаптують їх для одержання нової інформації. При цьому достовірність генерованих ними результатів постійно підвищується, оскільки їм властива здатність до навчання.

Одним з таких завдань є планування дорожніх потоків – складних інженерних лінійно протяжних об'єктів вираженої географічної породи. Мурашиний алгоритм є ефективним метаевристичним методом, що спирається на

нейронні мережі та придатний для розв'язання означеного оптимізаційного завдання.

У літературі описано методичні особливості розв'язання різноманітних оптимізаційних завдань, однак численні технічні проблеми їх практичної реалізації залишаються невідомими аж до спроб повторення їх прикладного застосування.

Особливість планування дорожніх потоків зумовлює не лише використання значного за обсягом і різноманітного за походженням масиву просторових даних, а й значень їх висотних аплікату. Таким чином, виникає потреба в розробці підходів до належної організації геопросторової бази даних, механізмів їх інтеграції в середовище нейронних мереж, налаштування додаткових адаптивних умов, характерних саме для мурашиного методу, візуалізації даних розв'язку у доступній для розуміння просторовій формі з метою подальшого встановлення ефективності одержаних рішень, зокрема й шляхом ГІС-аналізу.

Аналіз досліджень і публікацій. Переваги використання ГІС на різних етапах проектування доріг розглянуто в статті [1]. Зокрема, будівництво лісових доріг з використанням ГІС за оцінкою групи агентів (значення схилу, тип ґрунту, геологічна будова, гідрографічні аспекти, об'єм деревини в м³/га площі, видовий склад деревних порід) запропоновано в публікації [2]. Особливості функціонування технологій нейронних мереж в ГІС-системах та проблеми застосування нейромережних компонентів висвітлено іншими авторами [3]. Приклад взаємодії алгоритму мурашиної колонії і геоінформаційної системи трапляється у розв'язаннях задач з оптимізації планування багатоцільових експрес-перевезень [4]. Методи мультиагентної оптимізації для покращення наявних дорожніх мереж розкрито в статті [5]. У результаті дослідження встановлено, що саме мурашиний метод спрямований на пошук найкоротших маршрутів, обґрунтування принципів його функціонування й ефективності детально описано в науковій статті [6].

Постановка завдання. Використовуючи методи математичного моделювання і графічну мову опису для об'єктного моделювання у сфері програмного забезпечення UML, пояснити прикладні аспекти розробки програмного забезпечення, призначеного для розв'язання завдань з оптимізації планування транспортних потоків дорожньої мережі. Описати необхідні вхідні дані та їх організацію. Розглянути одержані результати та шляхи їх приведення у доступний для розуміння просторовий вигляд.

Основна частина. Вихідними даними слугують геопросторові шари інформації щодо крутизни схилів (*a*), об'єктів гідрографії (*b*), забудованих територій (*c*), рослинності (*d*), багаторічних насаджень (*e*), інженерних споруд (*f*).

Крутизна схилу є геоморфологічним параметром, який розраховують на основі похідної поверхні першого порядку. Рекомендоване значення поздовжнього схилу згідно з державними нормами [7] має бути не більшим за 30‰ ($\approx 1^\circ 44''$). У деяких випадках, за умови значної складності рельєфу та інших несприятливих місцевих умов, дозволяється знижувати нормативний параметр крутизни схилу до 100‰ ($\approx 5^\circ 43''$). Таким чином, з високим рівнем ймовірності

одразу можна «відкинути» частини територій, першочергове освоєння яких суперечитиме чинним нормативним вимогам або потребуватиме значних витрат на їх належне інженерне облаштування. Джерелом даних для побудови цифрової моделі місцевості (ЦММ) обрано матрицю SRTM (версії 4). Такий вибір зумовлений результатами дослідження порівняльної оцінки точності глобальних даних ASTER GDEM та SRTM з цифровою моделлю рельєфу (ЦМР), створеними за топографічними картами різних масштабів (1:25000, 1:50000, 1:100000) для різних умов рельєфу (рівнина, передгір'я та гірська частина) території Чернівецької області [8].

Об'єкти гідрографії в цьому контексті представлено поєднанням лінійних об'єктів річкової мережі та полігональних об'єктів водойм різного походження (ставків і озер). Джерело даних – геопортал «Водні ресурси України», репрезентований Держводагенством на початку 2018 р. Результати дослідження геометричної відповідності і топологічної коректності означених об'єктів для території Чернівецької області наведено в статті [9]. Для моделювання використано доповнені і виправлені дані.

Забудовані території охоплювали територію наявних населених пунктів, тобто – сукупність земельних ділянок, використаних як просторовий базис для розміщення об'єктів забудови промисловості і загального користування. Території населених пунктів, без перебільшення, визнають як найскладніші і за складом земель та їх функціональним використанням, і за формами власності й обмеженням прав власності на землі тощо. Хоча вилучення таких земельних ділянок можливе для суспільних потреб згідно з пунктом «г» ст. 143 Земельного кодексу України (зокрема, під розміщення лінійних об'єктів та об'єктів транспортної інфраструктури – доріг, мостів, естакад й об'єктів, потрібних для їх експлуатації), однак наявність земельних поліпшень спричинює високу вартість відшкодування. Окрім того, на територіях населених пунктів вже сформовано доволі густу дорожню мережу та розроблено заходи з її перспективного розвитку відповідно до генеральних планів. Джерелом даних слугували просторові об'єкти населених пунктів, розміщених на геопорталі «Адміністративно-територіальний устрій України» [10]. За потреби підвищеної деталізації забудованих територій можна скористатися безпосереднім дешифруванням об'єктів будівель та споруд за матеріалами космічної зйомки [11].

Рослинність та багаторічні насадження – це території, вкриті природною лісовою та чагарниковою рослинністю, і сільськогосподарські угіддя під штучно створеною деревною, кущовою чи трав'яною рослинністю. Їх поділ на окремі шари зумовлений певними відмінностями. Зокрема в проектуванні доріг до території лісів I категорії та природоохоронних територій ставлять особливі природоохоронні вимоги. Та й витрати на прокладання дорожнього шляху через зайняті рослинністю ділянки завжди будуть вищими за аналогічні відкриті, тому це свого роду обмежувальний фактор. Врахування особливостей земельного покриття вдалося досягти із застосуванням методології CORINE, спрямованої на формування і періодичне оновлення бази даних CLC земного покриття і комп'ютерне картографування цих даних на підставі фотоінтерпретації радіометрично і геометрично скоригованих орторектифікованих супутникових

зображень, зокрема отриманих у межах проекту IMAGE. База даних CLC, доступна в операційному режимі для більшості регіонів Європи за звітні 1990, 2000, 2006, 2012 роки у мережах Copernicus Land Monitoring Service, містить інформацію про поточний стан ділянок з використанням мінімального блоку картографування розміром 25 га, а поріг для виявлення змін земного покриття встановлюється у розмірі 5 га [12]. Дослідження з виділення таких даних виконано для Чернівецької області [13], що й стало однією з підстав їх використання. Для вихідних даних взято лише вибірки за відповідними ієрархічними рівнями: 2.2. – «багаторічні культури» і 3. – «ліси та напівприродні території».

Інженерні споруди – точковий шар, котрий включає всі прохідні ділянки над водними об'єктами, представлені у вигляді мостів, деяких видів гідротехнічних споруд і водопропускних труб. Слід зауважити, що нехтування наявністю водопропускних труб призводить до пошуку альтернативного шляху навіть через незначну водну перешкоду, що може в рази перевищувати економічно обґрунтований шлях і погіршує якість результатів, котрі формує мурашиний метод. Основним джерелом даних для створення цього шару слугували дані ДЗЗ, за якими шляхом візуального дешифрування встановлювали місця локалізації означених об'єктів.

Усі сформовані шари покривають регулярною мережею квадратів. Їх центроїди $T_{(x,y)}$ збігаються з регулярною мережею висотних даних SRTM та містять атрибутивні характеристики (a, b, c, d, e, f) кожного з квадратів в цій точці. Окрім того, центроїди містять унікальну нумерацію. В свою чергу вихідні атрибути кожної з точок формують функцію вигляду $k(a, b, c, d, e, f)$, задаючи вплив кожного фактора на подальше проходження маршруту за методом мурашиної оптимізації. Характеристики описуються діапазоном $[0,1]$, де 0 – повна відсутність впливу ознаки, а 1 – її наявність.

Задано перелік населених пунктів (N) у вигляді вершин графа $C(1 \dots N)$ з визначеними координатами (x, y) . Маршрут з i – го населеного пункту до j – го:

$$C_{ij} = \sum T \times k(a, b, c, d, e, f). \quad (1)$$

Загальний маршрут міститиме весь перелік населених пунктів на території дослідження:

$$\sum_{1..N} C_{ij} \rightarrow \min. \quad (2)$$

Кожна мураха будуватиме свій власний маршрут, обираючи кожен чергову точку маршруту випадковим чином. Ймовірність переходу мурахи з поточної точки до наступної може бути виражена у такому вигляді:

$$P_i = \frac{l_i^q \times f_i^p}{\sum_{k=0}^N l_k^q \times f_k^p}, \quad (3)$$

де P_i – ймовірність переходу за напрямком i ; l_i – величина, обернена вазі (довжині) i – го переходу; f_i – кількість феромону на i – му переході; q – величина, що визначає «жадібність» методу; p – величина, що визначає стабільність алгоритму $q + p = 1$.

Рух мурахи від вузла i до вузла j буде з ймовірністю:

$$P_{i,j} = \frac{(r_{i,j}^\alpha)(n_{i,j}^\beta)}{\sum (r_{i,j}^\alpha)(n_{i,j}^\beta)}, \quad (4)$$

де $r_{i,j}$ – кількість феромонів на ребрі i,j ; α – параметр контролю впливу $r_{i,j}$; $n_{i,j}$ – привабливість ребер i,j ; β – параметр контролю впливу $n_{i,j}$.

Внаслідок виконання умови руху кожна мураха згенерує маршрут. Одержаний масив маршрутів слід відсортувати за довжиною від $C_{ij} = \min$ до $C_{ij} = \max$, враховуючи кількість населених пунктів N .

Згідно з методом після генерації маршрутів слід виконати оновлення феромонів на найкращому маршруті:

$$r_{i,j} = (1 - \rho)r_{i,j} + \Delta r_{i,j}, \quad (5)$$

де $r_{i,j}$ – кількість феромонів на ребрі i,j ; ρ – швидкість випаровування феромону; $\Delta r_{i,j}$ – кількість відкладеного феромону.

Кількість феромонів гранично обмежується умовами $T_{\max}$, $T_{\min}$. Феромони відкладаються тільки на кращих шляхах, виявлених у процесі повторного застосування математичної операції. Всі ребра ініціюються значенням $T_{\max}$. Кількість ітерацій, кількість мурах та значення феромонів користувач вводить під час запуску алгоритму.

Алгоритм Max-Min «мурашиної системи» (MMAS) переважно приводить до найближчого сусіднього населеного пункту, формулюючи локально оптимальне рішення.

Реалізацію описаної математичної моделі здійснено за класами, наведеними в UML-діаграмі (рис. 1).

Клас *Point* описує точку з координатами (x,y), а *TPoint* розширює його, додаючи поля для характеристик, які зчитуються з вхідного файлу.

Клас *Route* містить інформацію про знайдений маршрут, а *TRoute* – розширює його, зберігаючи назви відвіданих населених пунктів. Маршрут складається з початкових точок руху мурах (населених пунктів) і містить точки, які обрала конкретна мураха під час свого руху.

Клас *Ant* містить характеристики конкретної мурахи, її унікальний номер, відвідані точки, а *Environment* – характеристики середовища (феромони та відстані між населеними пунктами).

Значення феромонів зберігаються в даному класі в процесі роботи алгоритму між ітераціями руху мурах.

Path, що містить дані про шляхи між населеними пунктами, використовується переважно як довідник для вибору відстаней між населеними пунктами.

AntMovingTask зберігає алгоритм руху мурахи, тобто випадковий вибір наступної точки для руху.

RouteComparator створений для того, щоб сортувати згенеровані маршрути відповідно до їх довжини і кількості населених пунктів, включених у маршрут.

UpdateEnvironmentTask оновлює значення феромонів на найкращому маршруті.

RouteUtilityFactory містить набори допоміжних функцій для роботи алгоритму.

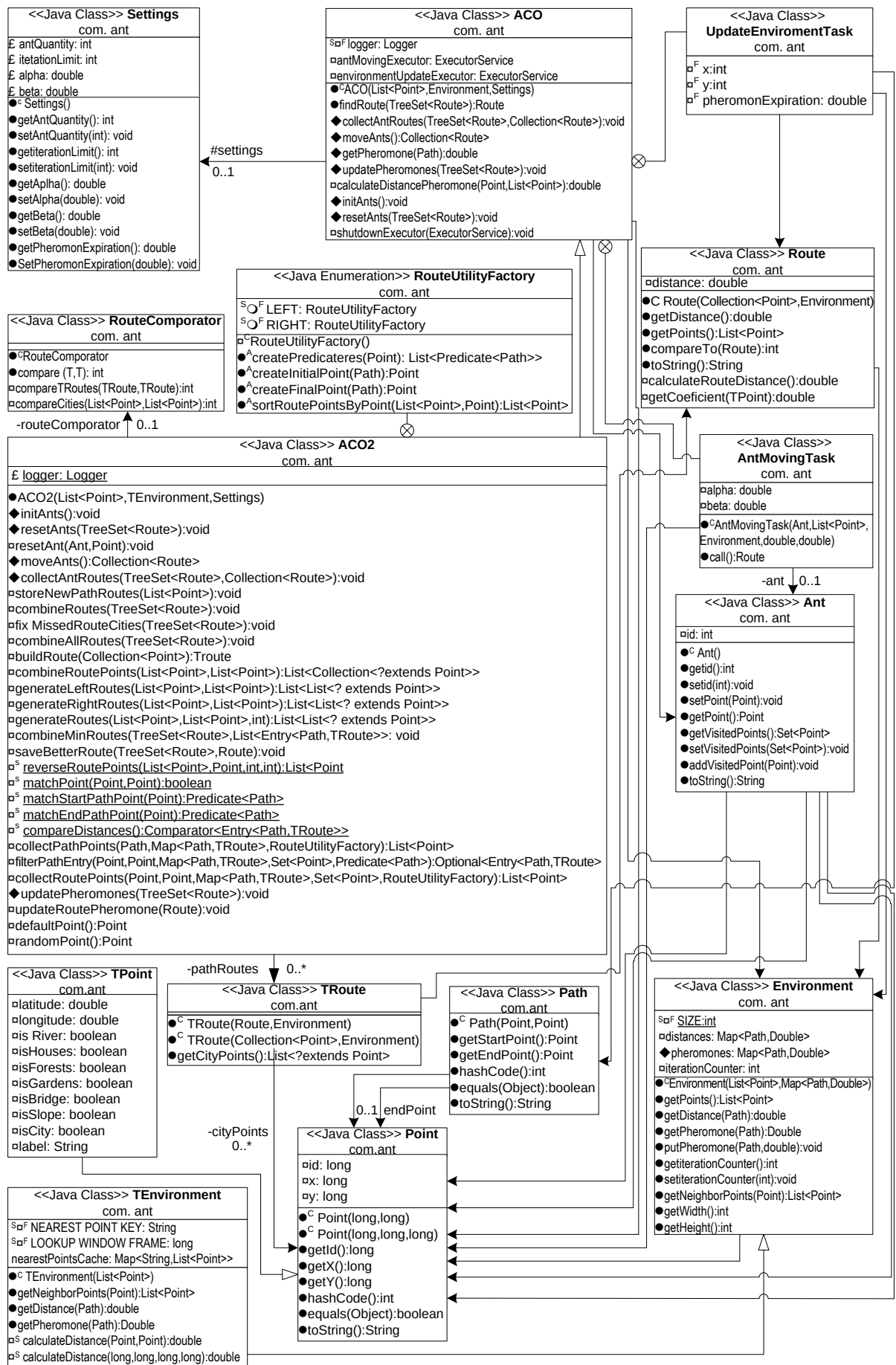


Рис. 1. Схема програмної реалізації мурашиного методу

Класи *ACO* та *ACO2* містять алгоритми роботи звичайного мурашиного алгоритму та його модифікації для даної задачі. Саме ці класи є основними, вони керують процесом роботи алгоритму від створення мурашиної колонії до знаходження оптимального маршруту.

Функціонування графічної частини показано на рис. 2.

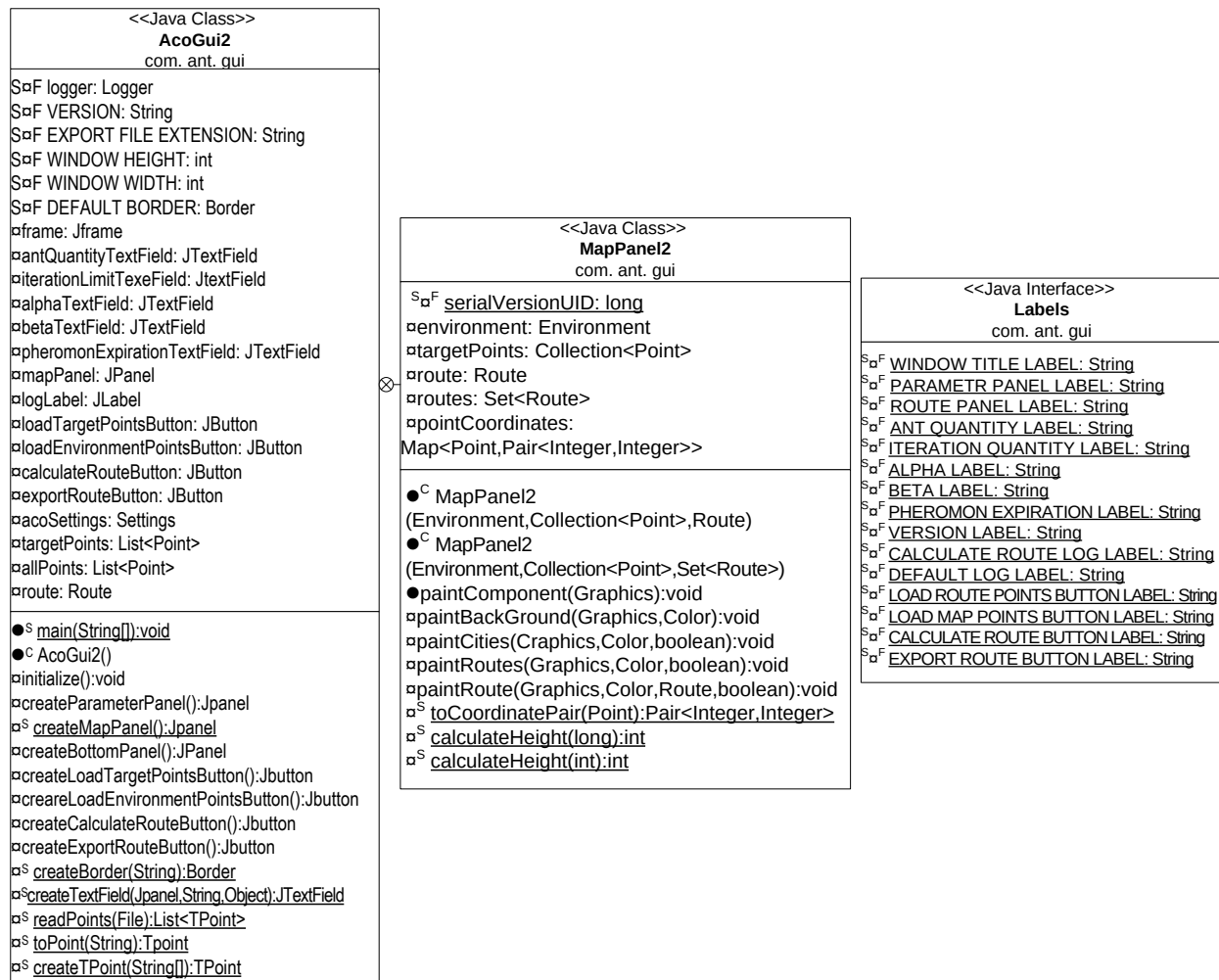


Рис. 2. Елементи користувацького інтерфейсу

AcoGui2 – клас, відповідальний за графічну частину, що дає змогу відобразити поля для введення параметрів, а також схематичну панель із виведенням карти маршруту та інших результатів роботи алгоритму.

MapPanel2 – розширення звичайної панелі для виведення схематичної карти з населеними пунктами та розрахованим маршрутом. Ця панель використовується в *AcoGui2*.

Labels містить підписи для компонентів введення-виведення інформації (параметрів).

Метод працює таким чином, що спочатку відбувається пошук будь-яких маршрутів між населеними пунктами. Знайдені маршрути зберігаються, і в процесі роботи, якщо буде знайдений кращий маршрут (з меншою кількістю точок, а відповідно і меншою довжиною), він оновить існуючий. Після того як знайдено маршрути між двома точками, алгоритм починає шукати можливості для комбінації знайдених маршрутів (якщо якісь маршрути містять спільну

точку). Маршрути сортуються, і відбувається оновлення феромонів. Наступна ітерація створить нову популяцію мурах, які рухатимуться вже за новими маршрутами. Таким чином, алгоритм не тільки шукає нові маршрути, а й комбінує вже існуючі. Сорткування маршрутів відбувається з врахуванням кількості відвіданих населених пунктів, тобто якщо умовно був знайдений маршрут довжиною 10 одиниць і з двома відвіданими пунктами і маршрут довжиною 15 і трьома відвіданими пунктами, то другий матиме пріоритет і вважатиметься кращим (адже він покриває більшу кількість населених пунктів).

Комбінування маршрутів здійснюється на кінцевих точках знайдених кращих маршрутів. Дублюючі маршрути вилучаються.

Таким чином, у процесі роботи алгоритму кращі маршрути зберігаються й отримують пріоритет, а під час комбінування маршрутів генеруються нові маршрути. Генерація нових маршрутів потрібна, оскільки карта пошуку маршрутів може містити велику кількість точок й одна мураха не може відвідати всі точки. Та якщо мураха обирає точку, вже відвідану нею, вона «помирає» і маршрут, який вона пройшла, ігнорується.

Мурахи розподіляються по населених пунктах рівномірно і тому побудова маршрутів відбувається зовсім випадковим чином.

Результат розв'язування – файл формату *.csv з переліком унікальних id-центроїдів, що містять відповідні координати. Власне, за цими координатами в середовищі ГІС і відбувається створення векторних точкових об'єктів. Лінійні розміри квадратів дають можливості застосування згладжувань у вигляді поліномів в степені k , подібних до кубічних кривих Безьє. Вони не є інтерполюючими, оскільки з $k + 1$ точок, котрі беруть участь в побудові, кінцева крива проходить лише через першу й останню точки. Решта $k - 1$ точок відіграють роль свого роду гравітаційних центрів, що притягують до себе криву. На основі цих кривих можна будувати сплайн. На кожному сегменті сплайну буде своя крива Безьє k -степені.

Подальший аналіз в середовищі ГІС першочергово передбачає додавання різноманітних заохочень й обмежень з метою автоматичного розрахунку й оцінки інших імовірних варіантів до одержання найоптимальнішого варіанта з огляду на комплексний ряд факторів (природничих, дорожньо-транспортних, містобудівних, соціальних, екологічних, економічних).

Обравши оптимальний варіант планування транспортних потоків дорожньої мережі, засобами ГІС, можна одержати всі елементи, потрібні для перенесення проектного рішення в натуру у відповідній системі координат й оформлення відповідної документації [14].

Висновки. Складність автомобільних доріг як комплексу лінійних інженерних споруд, в основі розміщення котрих має бути передусім дотримання вимог щодо безпеки та максимальної раціональності, значною мірою підвищують складність завдань з їх проектування. Застосування мурашиного методу при всіх рівних умовах дає змогу краще змодельовати оптимізацію наявної дорожньої мережі. Особливості функціонування методу забезпечують пошук будь-яких маршрутів з подальшим визначенням кращих можливих варіантів. Здійснюється не тільки пошук нових маршрутів, а й комбінування вже прокладених.

Розв'язання такого завдання потребує належної організації вихідних даних та поєднання алгоритмічних і математичних методів.

У дослідженні пояснено можливий шлях прикладної реалізації планування транспортних потоків дорожньої мережі від етапу збору та введення даних до одержання результату, максимально достовірного цілям вишукування.

Перспективи дослідження. Розвиток національної інфраструктури геопросторових даних значною мірою сприятиме формуванню механізмів використання означених даних як вихідних для моделювання. Комплексна система, що включає десятки інформаційних шарів, не лише підвищить точність вихідних агентів, а й суттєво збільшить їх кількість. Все це створює передумови для вивчення оцінки можливих впливів й ухвалення відповідних рішень.

Оскільки, базові та інші геопросторові дані повинні регулярно оновлюватися згідно із прийнятими стандартами та вимогами щодо їх якості, то все це комплексно сприятиме підтримці належного розвитку об'єктів дорожнього комплексу відповідно до соціально-економічних потреб держави. Як наслідок, систему можна щоразу навчати на кращих даних та підвищувати рівень проектної точності результатів методу.

Окрім того, відомо, що мурашині алгоритми під час оптимізації розподілених систем з параметрами, що динамічно змінюються, демонструють високу ефективність. З практичної точки зору, це означає, що такі зміни можуть дозволити оперативно інформувати про виникнення перепон (наприклад, в надзвичайних ситуаціях) й опрацьовувати альтернативні варіанти відповідно до специфіки ситуації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Гуцул Т. В.* Тенденції використання сучасних засобів ГІС та САПР у проектуванні доріг / Т. В. Гуцул // Вісник геодезії та картографії. – 2015. – №5. – С. 57–61.
2. *Najafi A.* Planning road network in mountain forests GIS and Analytic Hierarchical Process / A. Najafi, K. Mohammadi Samani // Caspian Journal of Environmental Sciences. – 2010. – №8. – Р. 151–162.
3. *Сухий П. О.* Інформаційні технології в менеджменті землеустрою / П. О. Сухий, Т. В. Гуцул. – Чернівці: Рута, 2015. – 200 с.
4. *Hongga L.* Optimizing expressway maintenance planning by coupling ant algorithm and geography information system transportation in Hubei province, China / L. Hongga, H. Xiaoxia, F. Quan // IGARSS. – 2011. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2011.6049841>.
5. *Гуцул Т. В.* Огляд існуючих методів мультиагентної оптимізації / Т. В. Гуцул. // Містобудування та територіальне планування. – 2016. – №60. – С. 99–105.
6. *Гуцул Т. В.* Мультиагентна оптимізація планування потоків дорожньої мережі: особливості мурашиного алгоритму / Т. В. Гуцул. // Містобудування та територіальне планування. – 2016. – №62. – С. 179–185.

7. *ДБН В.2.3 – 4 – 2007: Автомобільні дороги. Ч. 1. Проектування. Ч. 2. Будівництво.* – Київ: Мінрегіонбуд України, 2007. – 87 с. – (Національні стандарти України). – Чинні від 2008–03–01.
8. Hutsul T. Comparative accuracy assessment of global DTM and DTM generated from Soviet topographic maps for the purposes of road planning / T. Hutsul, Y. Smirnov // *Geodesy and Cartography*. – 2017. – № 43. – p. 173–181. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.3846/20296991.2017.1412638>.
9. Біля І. К. Аналіз геопорталу «Водні ресурси України» (на прикладі Чернівецької області) / І. К. Біля. // *Часопис картографії*. – 2018. – №1. – С. 25–36.
10. *Геопортал адміністративно-територіального устрою України* // НДІ геодезії і картографії. – 2016. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://atu.minregion.gov.ua/ua>.
11. Гуцул Т. В. Дешифрування об'єктів забудови для цілей моніторингу атмосфери урбанізованих територій / Т. В. Гуцул. // *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. – 2013. – №1(7). – С. 131–136.
12. Аналітичний огляд європейських проєктів LUCAS і CORINE для моніторингу та валідації земного покриття і землекористування на основі супутникових та наземних спостережень та досвід картографування земного покриття в Україні / Я. І. Зелик, Н. М. Куcssуль, А. Ю. Шелестов, Б. Я. Яйлимов // *Український журнал дистанційного зондування Землі*. – 2017. – №12. – С. 10–36.
13. Бондаренко Е. Л. Методичні особливості дешифрування даних дистанційного зондування Землі для геоінформаційного картографування земельних ресурсів Чернівецької області / Е. Л. Бондаренко, Я. В. Смірнов. // *Вісник КНУ ім. Т.Шевченка*. – 2014. – №1(62). – С. 53–59.
14. Гуцул Т. В. Можливості геоінформаційного аналізу в дослідженнях стану геодезичного забезпечення для потреб дорожньої галузі / Т. В. Гуцул, О. В. Писаренко // *Інженерна геодезія*. – 2017. – №64. – С. 77–88.

REFERENCES

1. Hutsul T. V. Tendentsii vykorystannia suchasnykh zasobiv HIS ta SAPR u proektuvanni dorih (2015) [Modern tendencies in using GIS and SAPR during road designing]. *Visnyk heodezii ta kartohrafii – Herald of Geodesy and Cartography*, 5, 57–61. [in Ukrainian].
2. Najafi A., Mohammadi Samani K. (2010). [Planning road network in mountain forests GIS and Analytic Hierarchical Process]. *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 8, 151–162.
3. Sukhyi P. O., Hutsul T. V. (2015) *Informatsiini tekhnolohii v menedzhmenti zemleustroi* [Information technologies for land management]. Chernivtsi: Ruta, 2015. – 200 s. [in Ukrainian].
4. Hongga L., Xiaoxia H., Quan F. (2011). *Optimizing expressway maintenance planning by coupling ant algorithm and geography information system transportation in Hubei province, China*. IGARSS. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2011.6049841>.
5. Hutsul T. V. (2016). Ohliad isnuichykh metodiv multyahentnoi optymizatsii [Review of existing methods of multiagent optimization]. *Mistobuduvannia ta*

terytorialne planuvannia – Urban planning and territorial planning, 60, 99-105. [in Ukrainian].

6. Hutsul T. V. (2016). Mulyahentna optymizatsiia planuvannia potokiv dorozhnoi merezhi: osoblyvosti murashynoho alhorytmu [Multiagent optimization in planning road network flows: ant colony algorithm details]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and territorial planning*, 62, 179–185. [in Ukrainian].

7. Avtomobilni dorohy. Chastyna 1. Proektuvannia. Chastyna 2. Budivnytstvo. [Highways. Part 1. Designing. Part 2. Construction]. (2008). *DBN V.2.3 – 4 – 2007* from 1st march 2008. – Kyiv: Natsionalni standarty Ukrainy [in Ukrainian].

8. Hutsul T., Y. Smirnov. (2017). Comparative accuracy assessment of global DTM and DTM generated from Soviet topographic maps for the purposes of road planning. *Geodesy and Cartography*, 43, 171–181. Retrieved from <https://doi.org/10.3846/20296991.2017.1412638>.

9. Bilia I. K. (2018). Analiz heoportalu «Vodni resursy Ukrainy» (na prykladi Chernivetskoi oblasti) [The analysis of the geoportal «Water resources of Ukraine» (for example, Chernivtsi region)]. *Chasopys kartohrafii – Cartography magazine*, 1, 25–38. [in Ukrainian].

10. Heoportal «Administratyvno-terytorialnoho ustroiu Ukrainy» [Geoportal of the «Administrative-territorial system of Ukraine»]. *atu.minregion.gov.ua/ua*. Retrieved from <http://atu.minregion.gov.ua/ua> [in Ukrainian].

11. Hutsul T. V. (2013). Deshyfruvannia obiektiv zabudovy dlia tslei monitorynhu atmosfery urbanizovanykh terytorii [Data decryption of developed objects for monitoring urban areas]. *Ekolohichna bezpeka ta zbalansovane resursokorystuvannia – Ecological safety and balanced resource usage*, 1(7), 131–136. [in Ukrainian].

12. Zielyk Ya. I., Kussul N. M., Shelestov A. Yu., Yailymov B. Ya. (2017). Analitychnyi ohliad yevropeiskyykh proektiv LUCAS i CORINE dlia monitorynhu ta validatsii zemnoho pokryvu i zemlekorystuvannia na osnovi suputnykovykh ta nazemnykh sposterezhen ta dosvid kartohrafuvannia zemnoho pokryvu v Ukraini [Analytical review of European projects LUCAS and CORINE for monitoring and validation of land cover and land use of the basis of satellite and ground observations and experience of land cover mapping in Ukraine]. *Ukrainskyi zhurnal dystantsiinoho zonduvannia Zemli – Ukrainian Journal of Remote Sensing*, 12, 10–36 [in Ukrainian].

13. Bondarenko E. L., Ya V. Smirnov. (2014). Metodychni osoblyvosti deshyfruvannia danykh dystantsiinoho zonduvannia Zemli dlia heoinformatsiinoho kartohrafuvannia zemelnykh resursiv Chernivetskoi oblasti [Methodical features of data interpretation of remote sensing for geoinformation mapping of Chernivtsi region land resources]. *Visnyk KNU im. T.Shevchenka – Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv*, 1(62), 53–59 [in Ukrainian].

14. Hutsul T. V., Pysarenok O. V. (2017). Mozhlyvosti heoinformatsiinoho analizu v doslidzhenniakh stanu heodezychnoho zabezpechennia dlia potreb dorozhnoi haluzi [The ability of geoinformation analyze in researching the state of Ukraine's geodesic covering for road industry]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 64, 77–88 [in Ukrainian].

Т.В. Гуцул

**ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЙ
РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ
МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ПЛАНИРОВАНИЯ
ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ ДОРОЖНОЙ СЕТИ**

В статье рассмотрены технические аспекты и принципы создания программного средства, направленного на планирование оптимальных транспортных потоков дорожной сети с использованием разных слоев геопространственных данных. Рассмотрены моменты подготовки и организации исходных данных, их последующей интеграции, принципов функционирования математической модели, вывода и визуализации данных. Построена и объяснена UML-диаграмма метода геоинформационной мультиагентной оптимизации планирования транспортных потоков дорожной сети и интерфейса пользователя.

Ключевые слова: ГИС, дорожное планирование, мультиагентная оптимизация, муравьиный метод, транспортные потоки, UML.

T. Hutsul

**APPLIED ASPECTS OF SOFTWARE IMPLEMENTATION OF
GEOINFORMATION MULTIAGENT OPTIMIZATION METHOD PLANNING
TRANSPORT FLOWS OF THE ROAD NETWORK**

The development of the road system and the maintenance of its proper functioning directly or indirectly relies on the creation of new ones and the search for alternative ways of using existing projects. These measures should contribute to the integrated effect, which will consist of reducing transport correspondence between settlements, reducing atmospheric emissions, reducing operating costs for road maintenance, and developing new territories. The article deals with the technical aspects and principles of creating a software tool for planning new transport networks. The Chernivtsi region is the base area for model testing. It is unique in terms of the contrast of the geomorphological structure, the densely riverside network, the large forest area and the number of settlements. Sources of the selection and using of all agents of geospatial data are substantiated. The moments of preparation and organization of initial data, their further integration, principles of mathematical model functioning, data extraction and visualization are considered. The transformation of the results into a spatial form is detailed, which allows to carry out further analysis of the quality of the solution obtained by the functional capabilities of GIS-funds. The UML diagram of the method of geoinformation multi-agent optimization of traffic flow planning of the road network and the user interface was constructed and explained.

Keywords: GIS, road planning, multiagent optimization, ant colony optimization, traffic flows, UML.

М.М. ТОМАЩУК, аспірант
кафедра геоінформатики і фотограмметрії,
Київський національний університет будівництва і архітектури

МОЖЛИВОСТІ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ В ДОСЛІДЖЕННЯХ ТРАНСПОРТНОЇ ДОСТУПНОСТІ ПОТЕНЦІЙНИХ АДМІНІСТРАТИВНИХ ЦЕНТРІВ ОБ'ЄДНАНИХ ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ГРОМАД

У статті досліджується транспортна доступність потенційних адміністративних центрів об'єднаних територіальних громад із застосуванням методу геоінформаційного аналізу за допомогою побудови буферних зон радіусів кругів нормативно встановлених розмірів. Метою публікації є представлення можливостей застосування методу геопросторового аналізу в процесі формування спроможних об'єднаних територіальних громад. Здійснено й описано поетапність використання зазначеного методу геопросторового аналізу.

Ключові слова: *геопросторовий аналіз, потенційний адміністративний центр, транспортна доступність, метод буферних зон, зона доступності.*

Вступ. Однією з визначальних рис сучасного розвитку людства є перехід до інформаційного суспільства. Інформатизація сприяє пришвидшенню обробки великих обсягів інформації, підвищенню продуктивності праці, можливості моделювання і прогнозування соціально-економічних явищ, оптимізації процесів прийняття управлінських рішень тощо. Інформатизація у сфері географії представлена перш за все створенням і функціонуванням геоінформаційних систем окремих регіонів. Геоінформаційний аналіз є однією з найважливіших функцій геоінформаційних систем, що дає можливість швидко, якісно й об'єктивно проаналізувати велику кількість просторово локалізованої інформації.

На сьогоднішній день зростання кількості даних і потреба в достовірній інформації зумовлює розвиток і застосування найрізноманітніших засобів, методів і підходів до їх аналізу. Геоінформаційні системи і технології стали переконливою альтернативою традиційним засобам картографічного моделювання геосистем, оскільки для комплексного моделювання найскладніших просторових об'єктів і явищ у сучасних геоінформаційних системах застосовується весь арсенал числових методів та потужних програмних засобів комп'ютерної обробки, просторово-часового моделювання, накопичення, поширення і візуалізації інформації, в тому числі і з використанням глобальних інформаційних систем [9].

Транспорт завжди був одним із визначальних чинників прогресу як суспільства загалом, так і прискореного розвитку окремих територій. Він великою мірою визначає науково-технічний прогрес і є одним з важливих досягнень науково-технічної революції. Найрозвиненіші території характеризуються

зазвичай сприятливим суспільно-географічним положенням, яке багато в чому визначається його транспортно-географічним складником.

Для реалізації положень Закону України «Про добровільне об'єднання територіальних громад» (далі – Закон) Кабінетом Міністрів України 8 квітня 2015 року затверджено Методику формування спроможних територіальних громад, що визначає механізм й умови формування саме спроможних громад (далі – Методика).

Завдання з визначення потенційних адміністративних центрів спроможних об'єднаних територіальних громад та зон їх впливу належить, зокрема, до сфери геоінформаційного аналізу та геоінформаційного моделювання. Оскільки геоінформаційне моделювання є високотехнологічним процесом й інструментом, який забезпечує збір і зберігання інформації про територію, обробку отриманих даних для формування моделі громад, а також відображення отриманих результатів у вигляді перспективного плану формування територій громад.

Потенційний адміністративний центр спроможної територіальної громади – населений пункт (село, селище, місто), який зазвичай розміщений найближче до географічного центру території спроможної територіальної громади і має найбільш розвинуту інфраструктуру.

Зона доступності потенційного адміністративного центру спроможної територіальної громади – територія навколо потенційного адміністративного центру спроможної територіальної громади, що визначається з урахуванням доступності послуг у відповідних сферах на території такої громади.

Аналіз досліджень і публікацій. У квітні 2014 року урядом країни затверджено Концепцію реформування місцевого самоврядування та територіальної організації влади, в якій реформу децентралізації визначено пріоритетним напрямом політики держави. Для реалізації положень зазначеного документа уряд схвалив низку законів і нормативних документів, в яких визначено основні умови і вимоги до формування нового адміністративно-територіального устрою України.

Для виконання поставлених завдань доцільно використовувати методи геоінформаційного аналізу, які дають змогу врахувати всі вимоги, визначені нормативними документами. Встановлення нових меж адміністративно-територіальних одиниць відноситься, зокрема, і до геоінформаційного аналізу і геоінформаційного моделювання. Серед великої кількості наукових праць щодо дослідження методів геоінформаційного аналізу, а саме транспортної доступності, варто відзначити роботи вітчизняних науковців Ю.О. Карпінського, А.А. Лященка, О.П. Дроздівського, Н.М. Пашинської та інших [7].

Постановка завдання. Метою публікації є визначення зон впливу потенційних адміністративних центрів спроможних об'єднаних територіальних громад з використанням методу геопросторового аналізу за допомогою побудови буферних зон радіусів кругів нормативно встановлених розмірів.

До основних завдань роботи належить репрезентація можливостей застосування методу геопросторового аналізу в процесі впровадження реформи децентралізації, зокрема у сфері формування спроможних територіальних громад. Дослідження стосується також аналізу транспортної доступності потенційного

адміністративного центру до населених пунктів для отримання населенням послуг у відповідних сферах на території такої громади.

Апробацію методу геоінформаційного аналізу виконано на території Київської області.

Основна частина. Формування спроможних територіальних громад, згідно з Методикою, здійснюється у такій послідовності [2]:

1) визначення потенційними адміністративними центрами міст обласного значення і населених пунктів, що мають статус районних центрів, та зон їх доступності.

Зони доступності таких потенційних адміністративних центрів визначаються на відстані не більш як 20 кілометрів дорогами з твердим покриттям. Відстань може бути збільшена до 25 кілометрів, коли чисельність населення спроможної територіальної громади в зоні віддаленості від потенційного адміністративного центру понад 20 кілометрів становить не більш як 10 відсотків загальної чисельності населення такої громади. Відстань може бути зменшена, якщо немає доріг з твердим покриттям або через особливості рельєфу, що унеможлиблює сполучення (річки без мостів, гори).

Зони доступності потенційних адміністративних центрів спроможних територіальних громад визначають з урахуванням доступності послуг у відповідних сферах, зокрема на час прибуття для надання швидкої медичної допомоги у невідкладних випадках та пожежної допомоги, що не має перевищувати 30 хвилин;

2) визначення потенційними адміністративними центрами населених пунктів (сіл, селищ, міст), які раніше мали статус районних центрів і розташовані на відстані більш як 20 кілометрів дорогами з твердим покриттям від міст обласного значення та населених пунктів, які мають статус районних центрів, та зон їх доступності.

Зони доступності таких потенційних адміністративних центрів визначають відповідно до пункту 1.

У разі розміщення в зоні доступності потенційного адміністративного центру спроможної територіальної громади, визначеного відповідно до пунктів 1 і 2, населеного пункту (села, селища, міста), який має відповідні кадрові ресурси, фінансове забезпечення та розвинуту інфраструктуру (зокрема, на території якого є загальноосвітній навчальний заклад I-III ступенів, проживає не менш як 250 дітей шкільного і 100 дітей дошкільного віку), такий населений пункт може бути визначений потенційним адміністративним центром спроможної територіальної громади;

3) визначення потенційними адміністративними центрами інших населених пунктів (сіл, селищ, міст), територія яких не охоплюється зонами доступності потенційних адміністративних центрів, визначених відповідно до пунктів 1 і 2, які розташовані на відстані не менш як 20 кілометрів дорогами з твердим покриттям від таких потенційних адміністративних центрів та частково забезпечені інфраструктурою.

У разі наявності на території, яка не охоплюється зонами доступності потенційних адміністративних центрів, визначених відповідно до пунктів 1 і 2,

більш як одного населеного пункту, який може бути визначений потенційним адміністративним центром, перевагу віддають тому, що має найбільш розвинуту інфраструктуру.

Картографічною основою дослідження став попередньо створений набір геопросторових даних, що складався з п'яти полігональних шарів:

- шар «Населені пункти»;
- шар «Межі області»;
- шар «Межі районів»;
- шар «Межі місцевих рад»;
- шар «Дорожня мережа».

Шар «Населені пункти» містить перелік населених пунктів Київської області із зазначенням їх КОАТУУ.

За допомогою інструментарію ГІС можна виконувати широкий спектр операцій: від простого відображення об'єктів до створення складних багат шарових аналітичних моделей. Тому апробацію геоінформаційного моделювання виконано в середовищі ArcGis, а також використано векторну картографічну основу масштабу 1:10000 в системі координат УСК-2000.

Для виконання поставлених вимог в середовищі ArcMap за допомогою інструмента «Select By Attributes» з шару «Населені пункти» вибрано всі міста обласного значення та районні центри. Тобто ми задовільнили вимогу першого пункту Методики щодо формування спроможних територіальних громад. Загалом на території Київської області на роль потенційних адміністративних центрів обрано 29 населених пунктів (відповідно до пункту 1 Методики) (рис. 1).

З метою реалізації методу геопросторового аналізу вирішено діяти з урахуванням концептуальної моделі вирішення просторових задач за В. Д. Шипуліним [6]:

- 1) постановка задачі (чітке формулювання завдання; визначення мети аналізу; визначення критеріїв аналізу);
- 2) поділ задачі на логічні частини;
- 3) вивчення вхідних наборів даних;
- 4) виконання аналізу (вибір методу аналізу, обробка даних);
- 5) оцінка і відображення результатів;
- 6) реалізація результату.

Реалізація методу спирається на визначення кругової зони доступності потенційних адміністративних центрів до населених пунктів. Величина таких кіл повинна відповідати нормативним вимогам. Відповідно до Методики зону доступності потенційних адміністративних центрів визначається на відстані не більш як 20 кілометрів дорогами із твердим покриттям. Тобто для реалізації цього методу вихідною величиною визначено 20-кілометрову зону.

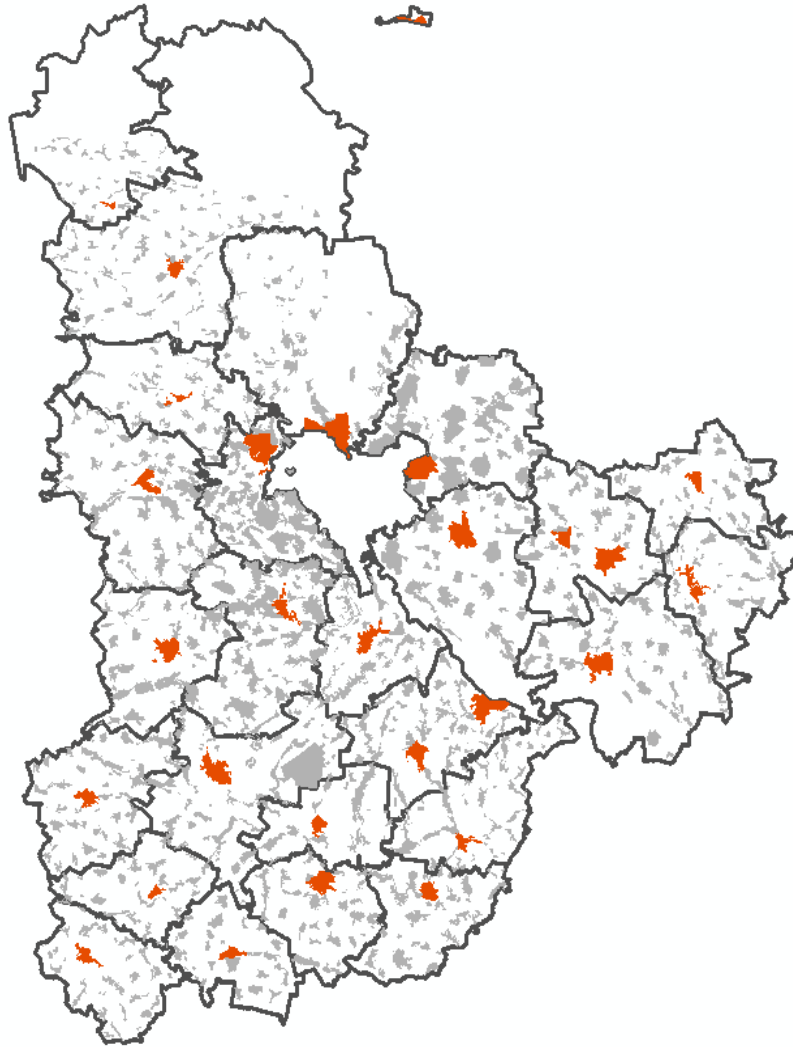


Рис. 1. Міста обласного значення та районні центри Київської області

Зазначений метод був використаний для візуалізації впливу потенційних адміністративних центрів на населені пункти за умови, якщо до них від потенційного адміністративного центру будуть побудовані дороги з твердим покриттям, які з'єднуюватимуть потенційний адміністративний центр та населений пункт по найкоротшому шляху, тобто по прямій.

Застосовуючи цю методику, потрібно використати основу з позначеними на ній населеними пунктами, які відповідно до пункту 1 Методики визначені потенційними адміністративними центрами. Від цих центрів накреслимо кола визначеного радіуса, тобто 20 км. В результаті одержимо схематичне зображення (рис. 2), на якому буде зображений перетин радіусів кіл, проведених з відповідних центрів. На цій схемі можливим є утворення «білих плям», тобто місць, що не перекриваються колами відповідного радіуса. Такі «білі плями» показують, що на цій території треба визначити додатковий потенційний адміністративний центр.

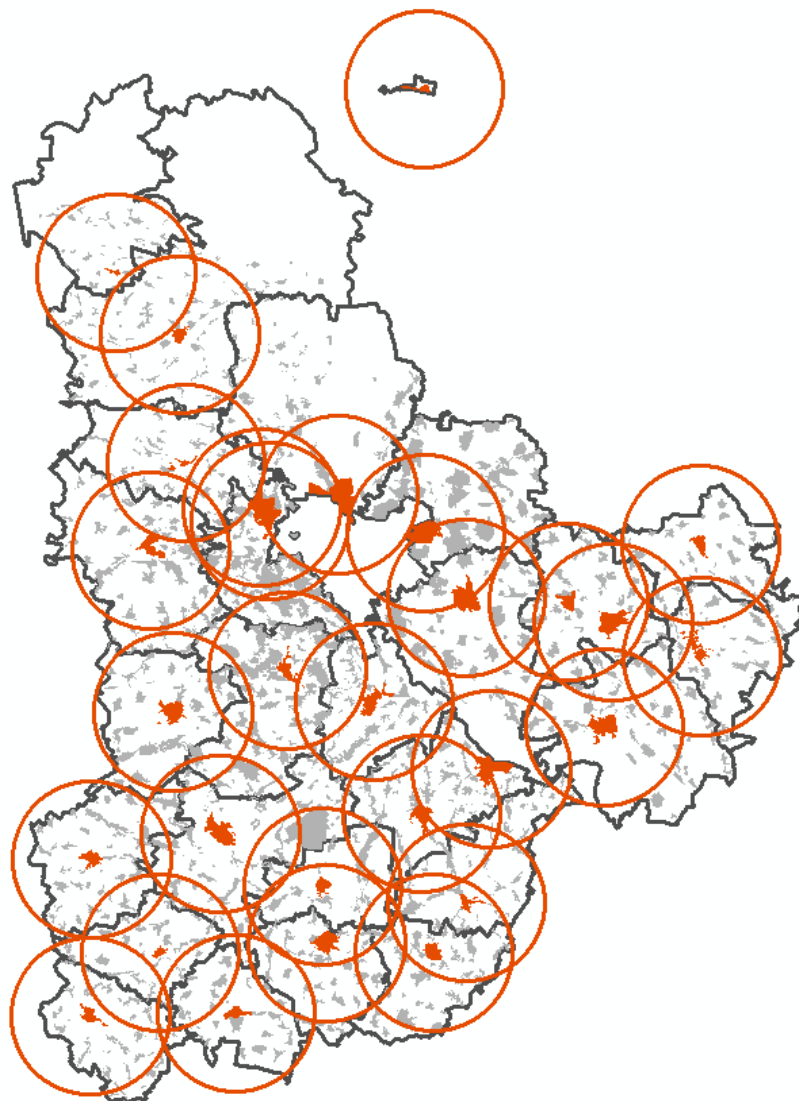


Рис. 2. Схематичне зображення зон доступності потенційних адміністративних центрів методом побудови буферних зон

Як видно з рис. 2, зони доступності потенційних адміністративних центрів спроможних територіальних громад не охоплюють всієї території Київської області. На певних територіях можна спостерігати перекриття однієї і тієї самої області зонами впливу кількох потенційних адміністративних центрів. З цього можна зробити висновок, що перевагу для визначення потенційним адміністративним центром слід віддавати тим населеним пунктам, які мають більш розвинуту інфраструктуру та найвищі соціально-економічні показники.

Згідно з вимогами Методики є три шляхи до розв'язання цієї проблеми:

1. Збільшити відстань до 25 км, якщо чисельність населення у зоні віддаленості не перевищує 10 відсотків загальної чисельності потенційної громади.
2. Визначити потенційними адміністративними центрами населені пункти, які раніше мали статус районних центрів і знаходяться в межах «білих плям».
3. Визначити потенційними адміністративними центрами населені пункти, що знаходяться в межах «білих плям» і частково забезпечені інфраструктурою.

Зважаючи на викладене, доцільно отримати дані щодо чисельності населення у розрізі населених пунктів, наявності інфраструктури, а саме: шкіл, дитячих садочків, фельдшерсько-акушерських пунктів, амбулаторій та ін. Ці дані дадуть змогу ретельніше підійти до вибору потенційних адміністративних центрів та зон їх доступності при геопросторовому аналізі.

Висновки. Законодавче регулювання формування спроможних територіальних громад, а також визначення потенційних адміністративних центрів цих громад зумовлює використання великої кількості даних, значна частина яких є просторово локалізованою.

Геопросторовий аналіз є одним з підходів до аналізу даних, який дає змогу розв'язати чимало проблем, зокрема і державного значення. Завдяки застосуванню геопросторового аналізу є можливість опрацювання великої кількості даних, зменшення витрат ресурсів у процесі аналізу.

У пропонованій роботі застосовано метод геопросторового аналізу за допомогою побудови буферних зон – кіл радіусом нормативно встановлених розмірів. На прикладі Київської області визначено зони впливу потенційних адміністративних центрів спроможних об'єднаних територіальних громад та представлено можливості застосування зазначеного методу геопросторового аналізу в процесі впровадження реформи децентралізації, зокрема у сфері формування спроможних територіальних громад.

На підставі виконаного геопросторового аналізу можна стверджувати, що потенційні адміністративні центри та зони їх впливу, визначені за методом зазначеного геопросторового аналізу, найбільш раціонально розміщені на віддалених від центру області територіях.

Застосування методу дало змогу встановити, що для виконання геопросторового аналізу треба мати додаткові дані, які впливатимуть на визначення зон доступності та самих потенційних адміністративних центрів. Аналіз показав наявність «білих плям», де необхідно визначити додатковий потенційний адміністративний центр або ж на підставі даних про чисельність населення збільшити зону доступності відповідного центру.

Загалом постає питання про ті території, які покривають зони впливу кількох адміністративних центрів. Зокрема, таку тенденцію можна спостерігати на території у безпосередній близькості до м. Київ. Наприклад, зони доступності міст обласного значення Ірпеня та Бучі охоплюють майже однакову територію.

Перспективи дослідження. У контексті пропонованого дослідження можна застосувати більшу кількість статистичних даних (чисельність населення, наявність соціальної інфраструктури тощо), що дасть можливість точніше визначити потенційні адміністративні центри і зони їх впливу.

Дослідження виконано з метою візуалізації максимально можливих зон доступності потенційних адміністративних центрів та за умови побудови доріг з твердим покриттям, які з'єднуватимуть потенційний адміністративний центр і населений пункт по найкоротшому шляху, тобто по прямій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про добровільне об'єднання територіальних громад» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/157-19>.
2. Постанова Кабінету Міністрів України від 08.04.2015 № 214 «Про затвердження Методики формування спроможних територіальних громад» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/214-2015-%D0%BF>.
3. Карпінський Ю.О. Адміністративно-територіальний устрій України. Проблемні питання та можливі шляхи їх вирішення / Ю.О. Карпінський, С.О. Сивоконь, В.А. Яцюк, та ін. – Київ: Поліграф. центр УкрДАГП, 2003. – 322 с.
4. Лейберюк О.М. Транспортна доступність населення до центрів госпітальних округів (конкретний аналіз на прикладі Чернівецької обл.) // Науковий вісник Херсонського державного університету. – 2017. – Вип. 7/2017. – С. 62-68.
5. Новик В. П. Формування адміністративно-територіальної структури України: історичні реалії та сучасні проблеми // Зб. наук. праць Нац. акад. держ. упр. при Президентові України. — 2004. — Вип. 2/2004. — С. 18-32.
6. Пашинська Н.М. Транспортний чинник у стисненні географічного простору /Н. М. Пашинська //Ученые зап. Таврического нац. ун-та им. В.И. Вернадского. – 2011. – Т.24 (63). – №2. – Ч.3. – С.204-208.
7. Адміністративно-територіальний устрій України. Історія. Сучасність. Перспективи / Секретаріат Кабінету Міністрів України. – Бориспіль: Геопринт, 2009. – 615 с.
8. Стан і проблеми реалізації реформи адміністративно-територіального устрою в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.niss.gov.ua/Monitor/Monitor_3/02.htm;
9. Шипулін В.Д. Основи ГІС-аналізу: навч. посіб. / В.Д. Шипулін. – Харків: Вид-во ХНУМГ, 2014. – 330 с.

REFERENCES

1. Zakon Ukrainy «Pro dobrovilne obiednannia terytorialnykh hromad» [Law of Ukraine «On voluntary association of territorial communities»]. (n.d.) <http://zakon3.rada.gov.ua> Retrieved from <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/157-19> [in Ukrainian].
2. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy «Pro zatverdzhennia Metodyky formuvannia spromozhnykh terytorialnykh hromad» [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On Approval of the Methodology for the Formation of Capable Territorial Communities»]. (n.d.) <http://zakon3.rada.gov.ua> Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/214-2015-%D0%BF> [in Ukrainian].
3. Karpinskyi Yu.O., Syvokon S.O., Yatsiuk V.A., Zaiets A.P., Matviishyn O.Ia., Nyzhnyk N.R. et al. (2003). *Administratyvno-terytorialnyi ustrii Ukrainy. Problemni pytannia ta mozhlyvi shliakhy yikh vyrishennia. [Administrative-territorial structure of Ukraine. Problematic issues and possible ways to solve them]* Kyiv: Polihraf. tsentr UkrDAHП [in Ukrainian].

4. Leiberiuk O.M. (2017). *Transportna dostupnist naselennia do tsentriv hospitalnykh okruhiv (konkretnyi analiz na prykladi Chernivetskoï obl.)* [Transport accessibility of the population to the centers of hospital districts (a concrete analysis on the example of Chernivtsi region.)] Kherson: Naukovyi visnyk Khersonskoho derzhavnoho universytetu - Scientific herald of Kherson State University [in Ukrainian].

5. Novyk V. P. (2004). *Formuvannia administratyvno terytorialnoi struktury Ukrainy: istorychni realii ta suchasni problemy* [Formulation of the administrative structure of Ukraine: historical realities and modern problems] Kyiv: Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoi akademii derzhavnoho upravlinnia pry Prezydentovi Ukrainy - Collection of scientific works of the National Academy of Public Administration under the President of Ukraine [in Ukrainian].

6. Pashynska N.M. (2011). *Transportnyi chynnyk u stysneni heohrafichnoho prostoru* [Transport factor in compressed geographic space] Uchenie zapysky Tavrycheskoho natsionalnoho unyversyteta ym. V.Y. Vernadskoho - Scientists note the Taurian National University V.Y. Vernadsky [in Ukrainian].

7. Sekretariat Kabinetu Ministriv Ukrainy (2009). *Administratyvno-terytorialnyi ustroï Ukrainy. Istoriia. Suchasnist. Perspektyvy* [Administrative-territorial structure of Ukraine. History. Modernity. Perspectives] Boryspil: Heoprynt [in Ukrainian].

8. Sait Natsionalnoho instytutu stratehichnykh doslidzhen [Site of National Institute for Strategic Studies]. <http://www.niss.gov.ua>. Retrieved from http://www.niss.gov.ua/Monitor/Monitor_3/02.htm [in Ukrainian].

9. Shypulin V.D. (2014). *Osnovy HIS-analizu: navch. posib.* [Basics of GIS analysis: tutor. manual.] Kharkiv: KhNUMH [in Ukrainian].

М.М. ТОМАЩУК

**ВОЗМОЖНОСТИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА
В ИССЛЕДОВАНИЯХ ТРАНСПОРТНОЙ ДОСТУПНОСТИ
ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ЦЕНТРОВ
ОБЪЕДИНЕННЫХ ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ ОБЩИН**

В статье исследуется транспортная доступность потенциальных административных центров объединенных территориальных общин с применением метода геоинформационного анализа при помощи построения буферных зон радиусов кругов нормативно установленных размеров. Целью публикации является представление возможностей применения метода геопространственного анализа в процессе формирования самодостаточных объединенных территориальных общин. Осуществлена и описана поэтапность использования данного метода геопространственного анализа.

Ключевые слова: геопространственный анализ, потенциальный административный центр, транспортная доступность, метод буферных зон, зона доступности.

M. TOMASHCHUK

**POSSIBILITIES OF GEOINFORMATION ANALYSIS IN RESEARCHES
OF TRANSPORT ACCESSIBILITY OF POTENTIAL ADMINISTRATIVE
CENTERS OF JOINT TERRITORIAL COMMUNITIES**

The article investigates the transport accessibility of potential administrative centers of the united territorial communities using the method of geoinformation analysis by constructing buffer zones of radii of circles of normatively set sizes. The task of identifying potential administrative centers of capable united territorial communities and their zones of influence includes, inter alia, geoinformation analysis and geoinformation modeling.

The main task of this work is the representation of the possibilities of using the method of geospatial analysis in the process of decentralization reform implementation, in particular, in the area of the formation of joint territorial communities.

In this article analyzed accessibility of the population to the potential administrative centers of the capable joint territorial communities to receive services in the relevant areas within the territory of such a community. The example of the Kyiv region identified the zones of influence of potential administrative centers of the capable joint united territorial communities and presented the possibilities of applying this geospatial analysis method.

Keywords: *geospatial analysis, potential administrative center, transport accessibility, buffer zone method, accessibility zone.*

Надійшла до редакції

30.03.2018

УДК 631.4

А.А. Лященко, *д-р техн. наук, професор,
професор кафедри геоінформатики і фотogramметрії,
В.В. Залужна*, *аспірант кафедри землеустрою та кадастру
Київський національний університет будівництва та архітектури*

**МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ
ОСУШУВАНИХ ЗЕМЕЛЬ**

Обґрунтовано сервіс-орієнтовану архітектуру системи геоінформаційного моніторингу осушуваних земель з інформаційною взаємодією її компонентів в мережі Інтернет. Розроблено структуру бази геопросторових даних об'єктів моніторингу осушуваних земель та інженерної інфраструктури осушуваних систем, бази даних моніторингових спостережень та бази даних з результатами оцінювання, моделювання і прогнозування еколого-меліоративного стану осушуваних земель та прилеглих до них територій. Розглянуто підходи до реалізації системи геоінформаційного моніторингу на основі використання відкритих базових геопросторових даних і відкритих програмних засобів

геоінформаційних систем і систем керування базами даних з функціональними розширеннями для зберігання й оброблення геопросторових даних.

Ключові слова: осушувані землі, еколого-меліоративний моніторинг осушуваних земель, геоінформаційний моніторинг, геоінформаційна система, база геопросторових даних.

Вступ. Осушувані землі – важлива складова аграрного потенціалу України, їх загальна площа становить понад 3 млн га, або близько 30% сільськогосподарських угідь країни. Система осушуваних земель належить до складних природно-технічних систем (ПТС) як територія з комплексом інженерних споруд і пристроїв, призначених для відведення надлишкових вод і створення сприятливого водного режиму ґрунтів для вирощування гарантовано високих врожаїв сільськогосподарських культур. Одна з основних вимог до функціонування будь-якої складної ПТС – дотримання екологічної рівноваги безпосередньо в межах системи та в зоні її впливу.

Система моніторингу осушуваних земель відіграє ключову роль у вирішенні завдань з інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень щодо ефективного й екологічно безпечного використання земель. Види, обсяги і термін моніторингових спостережень на типових осушуваних системах визначаються інструкцією [2] та іншими нормативними документами. Спеціально організовані служби провадять спостереження за еколого-меліоративним станом осушуваних і прилеглих до них земель, технічним станом осушувальних систем, агрохімічними властивостями та забрудненням орного шару ґрунтів, зміною родючості ґрунтів тощо.

Якісне опрацювання даних цих спостережень, комплексне оцінювання та прогнозування стану осушуваних земель, зважаючи на складність і просторово-часовий характер процесів, що відбуваються в екосистемі осушуваних і прилеглих до них земель, є можливим лише на основі широкого використання сучасних геоінформаційних технологій, баз геопросторових і спеціалізованих програмних засобів моделювання та прогнозування стану і поведінки осушуваних земель з урахуванням можливих змін природних і техніко-економічних умов території та напрямів використання осушуваних земель.

У пропонованій статті стисло проаналізовано стан інформатизації моніторингу осушуваних земель в Україні й обґрунтовано підхід до вирішення цього актуального завдання на засадах створення геоінформаційного моніторингу як технології і системи здійснення моніторингу на основі інтегрування даних з різних джерел, моделювання, оцінювання та прогнозування стану об'єктів моніторингу в середовищі геоінформаційних систем із застосуванням баз геопросторових даних і знань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Здійснення моніторингу осушуваних земель й оцінювання їх стану регулюється нормативними документами і методичними матеріалами [1; 2] але вони зорієнтовані переважно на традиційні «паперові» технології збирання і реєстрації даних польових спостережень і подання результатів моніторингу. У багатьох публікаціях у періодичних виданнях і монографічних дослідженнях увагу приділено

розробленню моделей оцінювання стану осушуваних земель та їх продуктивності в сільськогосподарському виробництві [5-7; 9-11].

Інституційні й економічні проблеми експлуатації і модернізації водогосподарської інфраструктури в умовах реформування земельних відносин і нових форм господарювання розглядаються як вітчизняними, так і зарубіжними вченими, наприклад, у публікаціях [12; 16]. Загалом проблема пов'язана з тим, що водно-меліоративні системи зазвичай конструктивно й технологічно будували для експлуатації в цілісному комплексі (сільгоспугіддя і гідротехнічна інфраструктура меліоративних систем). Зі зміною форм власності на землю та розпаювання осушуваних земель інфраструктура осушувальних систем залишилася в державній і комунальній власності. Це ускладнює вирішення завдань з утримання в належному стані гідротехнічних споруд та інвестування в їх модернізацію, а також здійснення еколого-меліоративного моніторингу (ЕММ) осушуваних земель і впровадження рекомендацій за його результатами.

Аналогічні економічні проблеми характерні також і для розвитку моніторингу, інвестування в удосконалення технології здійснення польових спостережень і в розвиток інформаційної інфраструктури реєстрації, опрацювання, поширення і використання результатів моніторингу. В монографічних дослідженнях В.С. Мошинський [9; 10] констатує: «Збирання даних про стан осушуваних земель відбувається з певними проблемами, але регулярно і достатньо науково обґрунтовано. На жаль, решта блоків ЕММ має цілий ряд серйозних проблем, до яких можна віднести:

низький рівень застосування автоматизованих методів первинної обробки та сортування даних;

майже повну відсутність розроблених та апробованих кількісних методів відтворення даних ЕММ;

низький рівень застосування сучасних програмних засобів ГІС для оброблення та візуалізації моніторингової інформації;

низький рівень застосування можливостей і засобів математичного моделювання стану та поведінки земель в умовах господарського використання різних сценаріїв розвитку природних і техніко-економічних умов території.

Все це суттєво обмежує високий інформаційно-дорадчий потенціал системи ЕММ, не дозволяє давати адекватні та оперативні відповіді на економічні, природоохоронні, землевпорядні та інші виклики сьогодення».

Публікації вітчизняних дослідників щодо застосування інформаційних технологій і ГІС в еколого-меліоративному моніторингу стосуються в основному моделювання і прогнозування рівня ґрунтових вод на зрошуваних й осушуваних землях [4; 6; 13; 14] як одного з ключових індикаторів стану меліорованих земель. Теоретичні основи розробки інформаційно-аналітичної системи оцінювання й управління меліорованими територіями з використанням ГІС з урахуванням особливостей зрошуваних земель розглянуто в дослідженні [14]. Спостерігається тенденція до розширеного використання даних дистанційного зондування землі (ДЗЗ) та відповідних методик і моделей для оцінювання стану рослин і вологості ґрунтів [7].

Застосування ГІС у сфері меліорації в розвинених країнах можна характеризувати багаторічним досвідом та комплексністю. За словами Б. Тріветта [16], гідрологи та гідрогеологи понад 30 років тому зрозуміли, що для планування або проектування на будь-якій території треба знати, що знаходиться під землею, на ній і над нею, і цю інформацію потрібно використовувати сумісно в єдиній системі координатно-часової прив'язки. Практична реалізація цього підходу успішно здійснюється як в США, Канаді [15; 17; 18], так і в європейських країнах, наприклад, в Чехії [16] в умовах реформування земельних відносин і державної власності на інфраструктуру осушуваних систем, що подібні до умов України. Можна відмітити не тільки комплексність і високий рівень застосування ГІС для опрацювання даних моніторингових спостережень, моделювання і прогнозування стану осушуваних і прилеглих до них земель [15, 18], а й високий рівень автоматизації збирання даних й оперативного управління технічною інфраструктурою осушуваних систем за технологією «розумних дренажних систем» (*Smart drainage system*).

Низький рівень застосування технології систем баз геопросторових даних і ГІС в моніторингу осушуваних земель в Україні можна пояснити низкою об'єктивних чинників, зокрема відсутністю доступної для використання актуальної цифрової топографічної основи на територію країни, досить високою (в умовах України) вартістю пропрієтарних інструментальних ГІС і систем керування базами даних (СКБД), постійним дефіцитом бюджетного фінансування робіт з експлуатації і технічної підтримки інфраструктури осушуваних систем, більшість яких залишилися в державній власності в умовах розпаювання і приватизації осушуваних сільськогосподарських земель. Недоліки в інвестиційному забезпеченні сфери водокористування в умовах реформування економіки України [14] безумовно негативно вплинули на технічну політику і темпи впровадження геоінформаційних технологій в моніторинг осушуваних земель.

Постановка завдання. Інформаційно-комунікаційні космічні технології (ІКК-технології) трансформували сучасне суспільство в геоінформаційне суспільство з розвиненою інфраструктурою геопросторових даних (ІГД). Україна не є винятком – геоінформаційні сервіси сучасних смартфонів надають пересічним громадянам доступ в мережі Інтернет як до глобальних геоінформаційних ресурсів типу Google Map, так і до ресурсів національного рівня, розміщених, наприклад, на порталі Публічної кадастрової карти України або на геопорталах містобудівного кадастру великих міст й областей. Реалізуються програми розбудови геопорталів різного тематичного спрямування на державному, регіональному та місцевому рівнях.

Обсяг доступних на безоплатній основі відкритих геопросторових даних, глобальних цифрових моделей рельєфу, даних ДЗЗ, програмних засобів відкритих ГІС і СКБД, наявність інформаційних ресурсів автоматизованої системи Державного земельного кадастру дають змогу навіть в економічних умовах України перевести в практичну площину завдання з удосконалення моніторингу осушуваних земель на основі використання відкритих базових геопросторових даних і відкритих ГІС.

Метою цієї публікації є розроблення архітектури системи геоінформаційного моніторингу осушуваних земель, структурної моделі бази геопросторових даних системи та шляхів її реалізації з використанням відкритих базових геопросторових даних і відкритих програмних засобів ГІС і СКБД.

Основна частина. Моніторинговими спостереженнями за станом осушуваних земель та інженерною інфраструктурою осушуваних систем охоплено територію більшості областей країни (рис. 1). Засоби геоінформаційного моніторингу осушуваних земель функціонально повинні забезпечити інформаційно-аналітичну підтримку таї взаємодію усіх базових суб'єктів, що здійснюють моніторинг меліорованих земель (ММЗ), до яких згідно з нормативним документом [2] належать підрозділи Держводагентства України, басейнові управління водних ресурсів, обласні управління меліорації і водного господарства, гідролого-меліоративні експедиції і партії та базові наукові установи і підприємства.

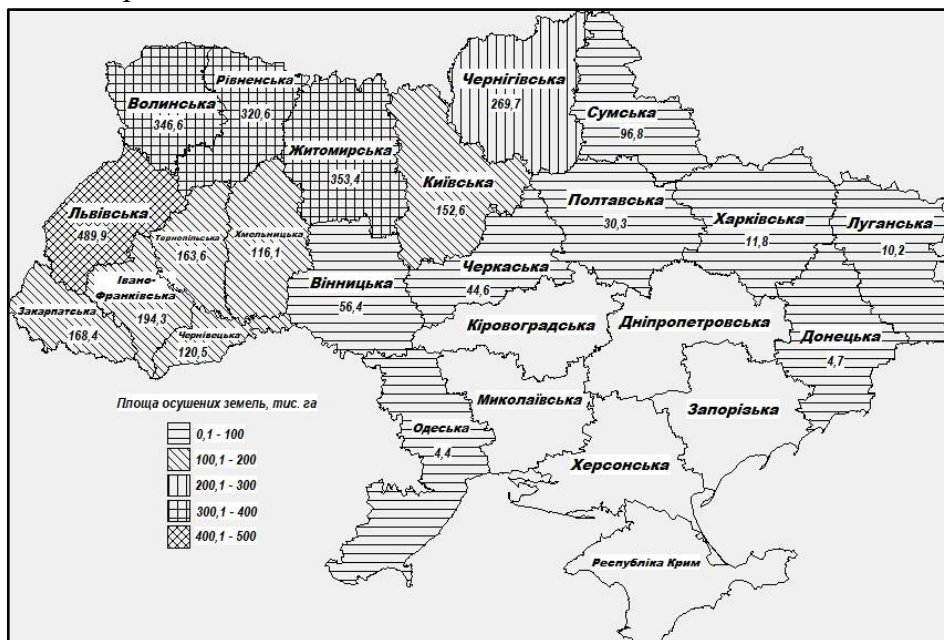


Рис. 1. Схема розподілу осушуваних земель по регіонах України (складено за даними Держводагентства України станом на 1.01.2015)

Базові суб'єкти ММЗ здійснюють спостереження за станом меліоративних і прилеглих до них земель та підтопленням сільських населених пунктів, а також узагальнення, підготовку та подання результатів моніторингу меліорованих земель на всіх рівнях (національному, регіональному, локальному).

Інформатизацію діяльності й інформаційну взаємодію територіально розподілених базових суб'єктів ММЗ ефективно може забезпечити система геоінформаційного моніторингу, побудована за сучасною сервіс-орієнтованою архітектурою (SOA), компоненти якої взаємодіють в глобальній мережі Інтернет (рис. 2). Система має трирівневу логічну структуру у складі сервера сховища моніторингових даних та бази знань; програмних сервісів обміну даними, моделювання та надання доступу до сховища даних; термінальних комплексів базових суб'єктів і користувачів системи моніторингу.

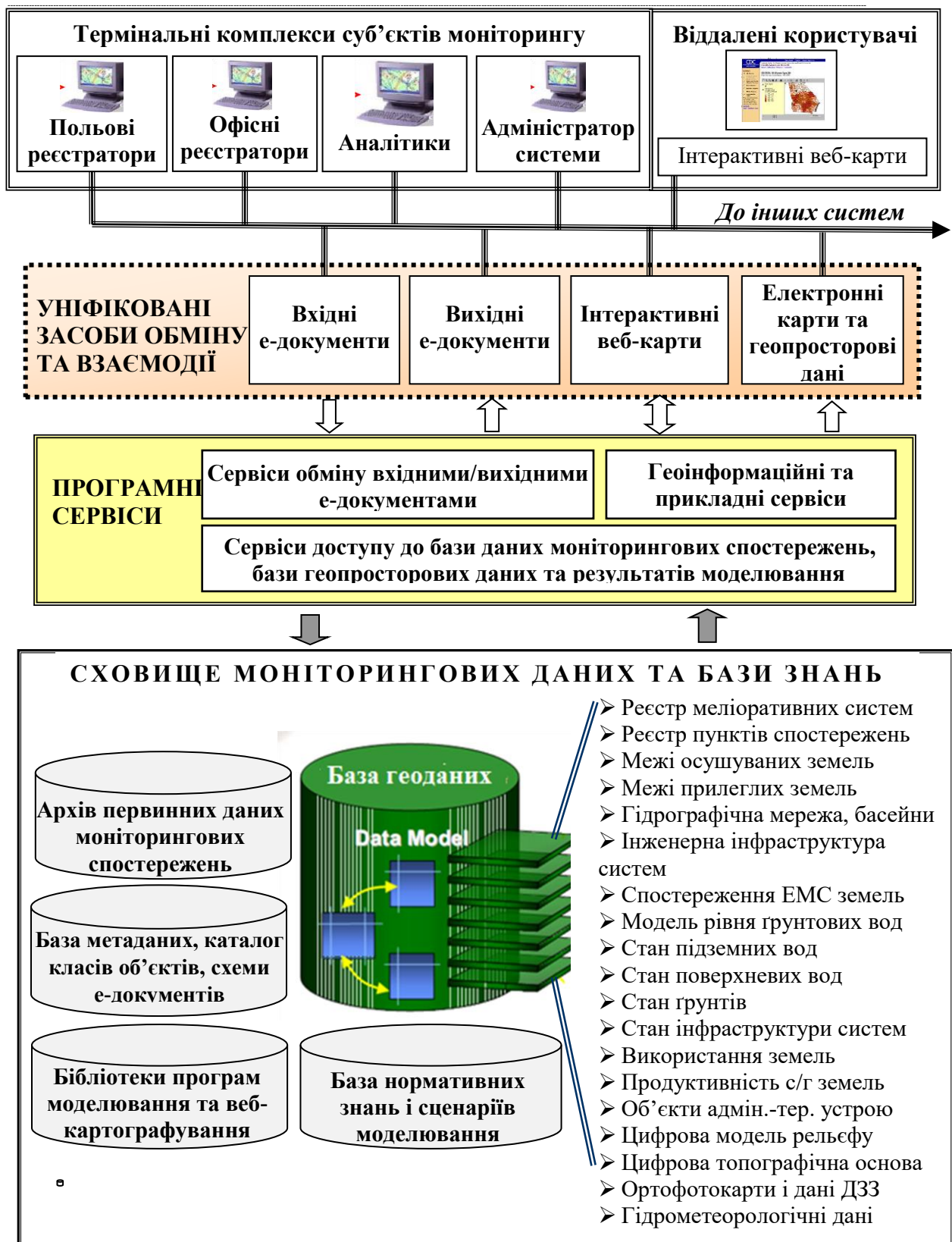


Рис. 2. Сервіс-орієнтована архітектура системи геоінформаційного моніторингу осушуваних земель

Обмін даними та взаємодія термінальних комплексів із сервісами системи відбувається на основі уніфікованих вхідних/вихідних електронних документів (е-документів) і повідомлень з використанням форматів розширюваної мови

розмітки XML і географічної мови розмітки GML для XML-подання геопросторових даних згідно з міжнародним стандартом ISO 19136.

Термінальні комплекси суб'єктів моніторингу (ТК) призначені для інформаційної підтримки діяльності базових суб'єктів моніторингу осушуваних земель у процесі збирання, реєстрації й опрацювання даних спостережень за еколого-меліоративним станом осушуваних земель і станом інженерної інфраструктури осушуваних систем, зокрема:

- ТК польових реєстраторів, що реалізуються на основі мобільних пристроїв, наприклад смартфонів або планшетів, за допомогою яких вводять дані польових спостережень з їх координатною прив'язкою та фотофіксацією безпосередньо в польових умовах;

- ТК офісних реєстраторів для введення даних за результатами лабораторних досліджень щодо хімічного складу ґрунтових і поверхневих вод, вологості та кислотності ґрунтів тощо;

- ТК аналітичних досліджень, оснащені розвиненим програмним забезпеченням геостатистичного аналізу та геоінформаційного моделювання з використанням даних моніторингових спостережень і даних ДЗЗ для оцінювання еколого-меліоративного стану (ЕМС) осушуваних земель і виявлення тенденцій його зміни та причин, що їх зумовлюють; оцінювання технічного стану меліоративних систем і його впливу на ЕМС осушуваних земель і прилеглих територій; моделювання і прогнозування ЕМС осушуваних земель, їх продуктивності для сільськогосподарського виробництва та розроблення пропозицій з поліпшення ЕМС осушуваних земель, ліквідації підтоплення, деградації ґрунтів та інших негативних явищ на осушуваних землях і прилеглих до них територіях;

- ТК адміністратора системи як користувача системи з особливим статусом доступу до програмних засобів та інформаційних ресурсів системи для підтримання функціональності усіх компонентів системи, їх модифікації і розвитку;

- інтерактивні веб-карти системи геоінформаційного моніторингу, які надають доступ, можливість перегляду та використання моніторингових даних за допомогою стандартних веб-браузерів для віддалених користувачів системи в мережі Інтернет.

Ключовою компонентою системи геоінформаційного моніторингу осушуваних земель є централізоване сховище моніторингових даних та бази знань (СМДЗ). Технологічно СМДЗ реалізується в середовищі універсальної системи керування базами даних (СКБД) з розширеннями для зберігання, аналізу і моделювання геопросторових даних. До таких належать сучасні пропріетарні об'єктно-реляційні СКБД Oracle, MS SQL Server, IBM DB2 та СКБД з відкритими кодами MySQL та PostgreSQL. Найповніша реалізація стандартів SQL доступу до баз геопросторових даних властива в СКБД Oracle та PostgreSQL. Зважаючи на те, що СКБД PostgreSQL та її розширення PostGIS для зберігання й опрацювання геопросторових даних доступні на підставі відкритої безоплатної ліцензії, то її застосування є ефективним рішенням для реалізації СМДЗ геоінформаційного моніторингу осушуваних систем. Підтвердженням надійності та функціональної

повноти СКБД PostgreSQL/PostGIS є сотні прикладів її успішного використання у великих зарубіжних і вітчизняних ГІС-проектах, зокрема в українських геопорталах Публічної кадастрової карти, Державної геодезичної мережі, Адміністративно-територіального устрою та багатьох інших.

СМДЗ – це сукупність баз даних і метаданих, бази геопросторових даних, бази нормативних знань та бази процедурних знань у складі бібліотек програм і сценаріїв моделювання (рис. 2), що забезпечують інформаційно-аналітичну підтримку всіх суб'єктів моніторингу осушуваних земель та функціонування і взаємодію усіх програмних сервісів системи геоінформаційного моніторингу. З огляду на обмежений обсяг статті можна лише стисло окреслити найважливіші аспекти підходу до реалізації цієї складової системи геоінформаційного моніторингу.

Передусім наголосимо на важливості реалізації в складі СМДЗ бази метаданих про всі зареєстровані в системі дані моніторингових спостережень, геопросторові дані та програмні сервіси. Ці метадані містять відомості про джерела даних, їх просторово-часове охоплення, якість даних, одиниці вимірювання, структуру модельного подання даних в базах даних та е-документах, референцні системи координат геопросторових даних, системи кодування та класифікації, використовувані в доменах значень властивостей об'єктів моніторингу, логічні зв'язки між об'єктами в моделях даних тощо. Структуру подання більшості цих метаданих викладено в міжнародних стандартах ISO 19110:2016 «Географічна інформація – Методологія каталогізації об'єктів» та ISO 19115:2014» Географічна інформація – Метадані».

Метадані про геоінформаційні і прикладні сервіси містять інформацію про адресу доступу до сервісу в інформаційній мережі, формалізований опис прикладного програмного інтерфейсу (API) взаємодії з програмою сервісу, структуру і формати вхідних/вихідних даних сервісу. До базових геоінформаційних сервісів належать такі: веб-картографічний сервіс WMS, що надає доступ до електронних карт; веб-сервіс геопросторових об'єктів WFS, що надає користувачам геопросторові дані в форматах GML та/або форматі GeoJson для класів геопросторових об'єктів за специфікацією мови Java; веб-картографічний сервіс покриття WCS, який забезпечує доступ до наборів геопросторових даних, що описують безперервні просторові поверхні типу географічних полів, наприклад, цифрова модель рельєфу, поверхня рівня залягання ґрунтових вод тощо.

База нормативних знань містить нормативні вимоги щодо складу і термінів здійснення спостережень та нормативні показники для оцінювання меліоративного стану осушуваних земель, наприклад, за строками відведення надлишкових вод у вегетаційний період, за рівнем залягання ґрунтових вод для різних сільськогосподарських культур відповідно до регіональних природно-гідрометеорологічних умов тощо згідно з інструкціями ВНД 33-5.5-15-2003, ВНД 33-5.5-13-2002 та іншими нормативними документами.

База геопросторових даних СМДЗ містить набори базових і профільних геопросторових даних. До набору базових геопросторових даних (НБГД) належать інформаційні ресурси топографічної основи, що формуються на основі

існуючих цифрових топографічних карт і планів різних масштабів, ортофотокарт. НБГД використовують як координатно-просторову основу для формування наборів профільних геопросторових даних моніторингу осушуваних земель (НПГД). Важливою складовою НБГД є цифрова модель рельєфу (ЦМР), яку використовують в багатьох задачах гідрологічного моделювання, зокрема для побудови моделі гідрологічної мережі поверхневих вод, визначення меж басейнів водозбору річок, моделювання тематичної поверхні рівня залягання ґрунтових вод тощо. Як джерела для первинного формування НБГД можуть бути використанні ортофотокarti масштабу 1:10 000, створені у складі інформаційних ресурсів системи Державного кадастру, а також відкриті джерела, наприклад: набори даних OpenStreetMap, електронні карти й ортофотозображення з картографічних сервісів GoogleMap, GoogleEarth, глобальні цифрові моделі рельєфу SMRT з просторовим розрізненням 1 кутова секунда та Aster GDEM з просторовим розрізненням 0,5 кут. секунди [<https://earthexplorer.usgs.gov>].

У наборах профільних геопросторових даних можна виділити геопросторові дані про об'єкти моніторингу та логічно пов'язані з ними набори даних моніторингових спостережень і набори даних з результатами оцінювання, моделювання і прогнозування еколого-меліоративного стану осушуваних земель і прилеглих до них територій.

До геопросторових даних про об'єкти моніторингу належать такі: реєстр меліоративних систем з межами осушуваних та прилеглих до них земель, реєстри пунктів спостережень (спостережні свердловини за рівнем ґрунтових вод (РГВ), пункти відбору проб поверхневих і ґрунтових вод, пункти відбору ґрунту, пункти спостережень за витратами води тощо), гідрографічна мережа з межами водозбірних басейнів, об'єкти інженерно-технічної інфраструктури меліоративних систем, межі земельних ділянок та межі територіальних зон за даними Державного земельного кадастру, межі об'єктів адміністративно-територіального устрою для узагальнення даних з оцінювання стану осушуваних та прилеглих до них земель.

База даних моніторингових спостережень складається з набору часових рядів вимірювань РГВ, показників складу і властивостей ґрунтових та поверхневих вод, складу і властивостей ґрунтів, продуктивності сільськогосподарських угідь, технічного стану пунктів спостережень й об'єктів інженерної інфраструктури меліоративних систем. Результати оцінювання, моделювання та прогнозування ЕМС осушуваних і прилеглих до них земель та стану об'єктів інженерної інфраструктури меліоративних систем також зберігаються в базі даних як набори часових рядів відповідних показників оцінювання стану об'єктів моніторингу (модельні поверхні РГВ, оцінки стану ґрунтових і поверхневих вод, стану ґрунтів, стану та продуктивності сільськогосподарських угідь, технічного стану об'єктів інженерної інфраструктури тощо).

Базу геопросторових даних цифрових моделей об'єктів моніторингу створюють засобами інструментальних ГІС (рис. 3) на основі цифрових топографічних карт і планів, схем інженерної інфраструктури меліоративних

систем, даних земельного кадастру, даних водного кадастру, ортофотокарт, цифрових моделей рельєфу та даних ДЗЗ.



Рис. 3. Фрагмент відображення геопросторових даних цифрової моделі мережі каналів і свердловин Солотвинської осушуваної системи в Житомирській області

Зважаючи на те, що вихідні картографічні матеріали про об'єкти інженерної інфраструктури найчастіше наявні лише у вигляді проектних схем, для створення їх цифрових моделей найкраще виконати їх інвентаризацію і технологію автоматизованої ідентифікації каналів і закритих дренажних систем в ГІС, використовуючи дані ДЗЗ високої роздільної здатності, наприклад, за методикою, викладеною в статті [16].

Для оцінювання, моделювання і прогнозування еколого-меліоративного стану осушуваних і прилеглих до них земель в багатьох країнах використовують як пропрієтарні, так і відкриті інструментальні і спеціалізовані ГІС [15–18]. В контексті мети цієї статті зауважимо значне зростання потужності і функціональної повноти відкритих інструментальних і спеціалізованих програмних засобів ГІС. До найпоширеніших поміж них належать QGIS, SAGA та GRASS.

QGIS [<http://www.qgis.org>] належить до класу повнофункціональних ГІС для розв'язання широкого спектра завдань зі створення й аналізу геопросторових даних, керування геоданими, тематичного картографування та публікування карт в Інтернет. В QGIS забезпечено пряме використання багатьох найпоширеніших форматів векторних і растрових моделей геопросторових даних в різних системах координат і картографічних проекціях, безпосередній доступ і робота з геопросторовими даними, що зберігаються в середовищі універсальних СКБД з

просторовими розширеннями, використання електронних карт та геопросторових даних з геоінформаційних сервісів типу WMS, WFS, що доступні в Інтернет.

ГІС SAGA [<http://www.saga-gis.org>] надає потужний набір функцій і методів, важливих для моделювання в системі моніторингу осушуваних земель, зокрема таких, як аналіз й опрацювання даних ДЗЗ, аналіз ЦМР для прогнозування стану ґрунтів, моделювання динаміки фізико-географічних і гідрологічних процесів, пов'язаних з рельєфом і кліматичними умовами.

Завершуючи стислий огляд відкритих ГІС-засобів, варто зауважити, що їх функціональність постійно нарощується завдяки широкому колу користувачів і розробників додаткових модулів (плагінів), бібліотека яких доступна в мережному глобальному репозитарії. Перспективним і важливим для реалізації програмних засобів моделювання є використання мови SQL з просторовими розширеннями сучасних об'єктно-реляційних СКБД. В реалізації нового стандарту мови SQL-99 забезпечується можливість створення прикладних функцій і процедур мовою SQL та іншими мовами програмування як об'єктів постійного зберігання в середовищі СКБД, що дає змогу реалізувати типові функції аналізу геопросторових даних безпосередньо в базах даних, викликати і виконувати їх на сервері бази даних практично з будь-якої інструментальної ГІС.

Висновки. Геоінформаційний моніторинг як інтегруюча технологія і система дає можливість здійснити міждисциплінарне перенесення знань і використання геопросторових даних з різних джерел для комплексного розв'язання завдань з моделювання, оцінювання та прогнозування стану осушуваних земель.

Побудова системи геоінформаційного моніторингу осушуваних земель за сервіс-орієнтованою архітектурою в мережі Інтернет з використанням об'єктно-реляційних СКБД для накопичення, зберігання й опрацювання даних моніторингових спостережень, баз геопросторових даних і даних ДЗЗ дозволить забезпечити сучасний рівень інформатизації діяльності й інформаційної взаємодії територіально розподілених організацій і підприємств, що здійснюють моніторинг осушуваних земель.

Наявність у вільному доступі відкритих базових геопросторових даних, глобальних цифрових моделей рельєфу, даних ДЗЗ з високим просторовим розрізненням і функціонально повних відкритих програмних засобів ГІС й об'єктно-реляційних СКБД з потужними засобами підтримання баз геопросторових даних дає можливість перевести завдання зі створення системи геоінформаційного моніторингу осушуваних земель в Україні в практичну площину, здійснити трансфер знань вітчизняних наукових шкіл у сфері еколого-меліоративного моніторингу осушуваних земель в базу процедурних знань геоінформаційного моніторингу для якісної й оперативної інформаційної підтримки ухвалюваних рішень щодо забезпечення ефективного й екологічно безпечного використання осушуваних земель.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України Про меліорацію земель : прийнятий 19 жовт. 2016 року № 1389-14 // Відомості Верховної Ради України. – 2000. – № 11. – 90 с.

2. ВНД 33-5.5-15-2003: Інструкція з організації та здійсненню моніторингу зрошуваних та осушуваних земель. – К.: Держводгосп України, 2003. – 29 с.
3. Ващик С. М. Застосування інформаційних технологій для оцінки еколого-меліоративного стану осушуваних земель Прикарпаття / С. М. Ващик // Вісник Львівського національного аграрного ун-ту: землевпорядкування і земельний кадастр. – 2009. – № 12. – С. 218–222.
4. Ковальчук П.І. Математичне моделювання в системі моніторингу затоплення і підтоплення сільгоспугідь і сільських населених пунктів / П.І. Ковальчук, С.А. Шевчук // Вісник УДУВГП. – 2007. Вип. 4(40). – Ч. 1. – С. 285-290.
5. Козловський Б.І. Меліоративний стан осушуваних земель західних областей України / Б.І. Козловський. – Львів: Євросвіт, 2005. – 420 с.
6. Логинов О.А. Прогнозирование уровня грунтовых вод с применением клеточных автоматов/ О.А. Логинов, Л.В. Сарычева // УСИМ. – 2009. – № 1. – С. 86-92.
7. Лялько В. І. Контроль параметрів динаміки регіональної рослинності на основі даних ДЗЗ з метою підвищення ефективності довгострокового управління гідролого-гідрогеологічними ризиками / В. І. Лялько, Д. М. Мовчан, Ю.В. Костюченко, І. М. Копачевський // Геоінформатика. – 2012. – № 1. – С. 50-56. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf_2012_1_9_
8. Лященко А. А. Онтологія та особливості компонентів геоінформаційного моніторингу за технологією баз геопросторових даних / А. А. Лященко, І.М. Патракеєв // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – Вип. 1(29). – С. 30-36.
9. Мошинський В.С. Методи управління продуктивністю та екологічною стійкістю осушуваних земель: монографія / В.С. Мошинський. – Рівне: НУВГП, 2005. – 250 с.
10. Мошинський В.С. Просторова екстраполяція у задачах відтворення даних моніторингу: монографія / В.С. Мошинський, З.К. Сасюк. – Рівне: НУВГП, 2010. – 184 с.
11. Наседкін І.Ю. Еколого-меліоративний моніторинг осушуваних земель/ І.Ю. Наседкін, О.В. Цветова, Г.П. Рябцева, Ю.П. Яковенко// Меліорація і водне господарство – 2008. – Вип. 96. – С. 115-122.
12. Хвесик М. А. Модернізація водогосподарської інфраструктури як фактор прискорення соціально-економічного піднесення сільських територій / М.А. Хвесик, В.А. Голян // Економіка АПК. – 2014. – № 7 – С. 121-126.
13. Шевель В.І. Застосування ГІС-технологій при зборі та обробці матеріалів спостереження за рівнями ґрунтових вод / В. І. Шевель, О. М. Семака // Чернігівський науковий часопис Чернігівського держ. ін-ту економіки і управління.– 2011. – Вип. 1. – С. 101-105. – (Серія 2 «Техніка і природа»)
14. Шевчук С.А. Удосконалення управління меліорованими територіями на основі інформаційно-аналітичної системи еколого-меліоративного моніторингу: дис. ... канд. техн. наук: 06.01.02 / С.А. Шевчук. – Київ, 2008. – 163 с.

15. Fernandez G. Application of DRAINMOD-GIS to a lower coastal plain watershed / G. Fernandez, G. M. Chescheir, R. W. Skaggs, D. M. Amatya // American Society of Agricultural and Biological Engineers. – 2007. – Vol. 50(2). – P. 439 – 447.
16. Tlapakova L. Agricultural drainage systems in the Czech landscape – identification and functionality assessment by means of remote sensing / Lenka Tlapakova // European Countryside. – 2017. – Vol. 9, Issue 1. – P. 77–98, ISSN (Online) 1803-8417, DOI: <https://doi.org/10.1515/euco-2017-0005>.
17. Trevett B. Remote sensing and geographical information systems. Their role in hydrology and environmental planning and management. Report on workshop of International Committee for Remote Sensing and data transmission of the IAHS / B. Trevett. – 1990. – 8 p.
18. Webber, D. F. Assessing surface flowpath interception by vegetative buffers using ArcGIS hydrologic modeling and geospatial analysis for Rock Creek watershed, central Iowa / D. F. Webber, M. Bansal, S.K. Mickelson, M.J. Helmers, K. K. Arora, B.K. Gelder, C.J. Judge. // Agricultural and Biosystems Engineering. – 2018. – 60(1). – P. 273 – 283. https://lib.dr.iastate.edu/abe_eng_pubs/884.

REFERENCES

1. Закон України Про меліоративу земель : прийнятий 19 жовт. 2016 року № 1389-14 [Law of Ukraine About land reclamation from October 19 2016, № 1389-14] (2000). *Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy – Bulletin of Verkhovna Rada of Ukraine* [in Ukrainian].
2. VND 33-5.5-15-2003 *Instruktsiia z orhanizatsii ta zdiisnenniu monitorynhu zroshuvalnykh ta osushuvanykh zemel* [Instruction on the organization and monitoring of irrigation and drainage lands]. (2003). Kyiv: Derzhvodhosp Ukrainy [in Ukrainian].
3. Vashchuk, S. (2009). Zastosuvannia informatsiinykh tekhnolohii dlia otsinky ekoloho-melioratyvnogo stanu osushenykh zemel Prykarpattia [Application of information technologies for assessing the ecological and reclamation state of drained lands of the Carpathian region]. *Visnyk Lvivskoho natsionalnoho ahrarnoho un-tu: zemlevporiadkuvannia i zemelnyi kadastr – Visnyk of Lviv National Agrarian University: land management and land cadaster*, 12, 218-222 [in Ukrainian].
4. Kovalchuk P.I., & Shevchuk, S.A. (2007). Matematychni modeliuvannia v systemi monitorynhu pidtoplennia silskohospuhid i silskych naselenykh punktiv [Mathematical modeling in the system of monitoring flooding and flooding of agricultural lands and rural settlements]. *Visnyk UDUVHP – Visnyk UDUVHP*, 4(40). Part. 1, 285-290 [in Ukrainian].
5. Kozlovskiy, B.I. (2005). *Melioratyvnyi stan osushuvanykh zemel zakhidnykh oblastei Ukrainy* [Meliorative state of drained lands in western regions of Ukraine]. Lviv: Yevrosvit [in Ukrainian].
6. Lohinov, O.A., & Sarycheva, L.V. (2009). Prohnozyrovanyie urovnia hruntovykh vod s pryimeneniyem kletochnykh avtomatov [Forecasting of groundwater level with the use of cellular automata]. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal «Upravliaiushchye systemy i mashyny» – International Scientific Journal "Managing Systems and Machines"*, 1, 86-92 [in Ukrainian].

7. Lialko, V.I., Movchan, D.M., Kostiuchenko, Yu.V., & Kopachevskyi, I.M. (2012). Kontrol parametriv dynamiky rehionalnoi roslynnosti na osnovi danykh DZZ z metoiu pidvyshchennia efektyvnosti dovhostrokovoho upravlinnia hidroloho-hidroheolohichnykh ryzykamy [Parameters control of regional vegetation dynamics by remote sensing to improve long-term management effectiveness of hydrological and hydrogeological risks]. *Heoinformatyka – Geoinformatics*, 1, 50-56 Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/geoinf_2012_1_9 [in Ukrainian].
8. Lyashchenko, A.A., & Patrakeiev, I.M. (2015). Ontolohiia ta osoblyvosti komponentiv heoinformatsiinoho monitorynhu za tekhnolohiieiu baz heoprosorovykh danykh [Ontology and features of components of geoinformation monitoring using geospatial database technology]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Modern achievements in geodetic science and industry*, 1(29), 30-36 [in Ukrainian].
9. Moshynskyi, V.S. (2005). *Metody upravlinnia produktyvnistiu ta ekolohichnoi stiikistiu osushuvanykh zemel* [Methods of management productivity and ecological stability of drained lands]. Rivne: NUVHP [in Ukrainian].
10. Moshynskyi, V.S., & Sasiuk, Z.K. (2010). *Prostoroza ekstrakoliatsiia u zadachakh vidtvorennia danykh monitorynhu* [Spatial extrapolation in the tasks of reproducing monitoring data]. Rivne: NUVHP [in Ukrainian].
11. Nasiedkin, I.Iu., Tsvietova, O.V., Riabtseva, H.P., & Yakovenko, Yu.P. (2008). Ekoloho-melioratyvnyi monitorynh osushuvanykh zemel [Ecological and meliorative monitoring of drained lands]. *Melioratsiia i vodne hospodarstvo – Melioration and water management*, 96, 115-122 [in Ukrainian].
12. Khvesyk, M.A., & Holian, V.A. (2014). Modernizatsiia vodohospodarskoi infrastruktury yak faktor pryskorennia sotsialno-ekonomichnoho pidnesennia silskykh terytorii [Modernization of water infrastructure as a factor in accelerating the socio-economic development of rural areas]. *Ekonomika APK – Economy AIC*, 7, 121-126 [in Ukrainian].
13. Shevel, V.I., & Siemaka, O.M. (2011). Zastosuvannia HIS–tekhnolohii pry zbori ta obrobtsi materialiv sposterezhenia za rivniamy gruntovykh vod [Application of GIS-technologies in gathering and processing materials for observation of groundwater levels]. *Tekhnika i pryroda, 1 – Technique and nature*, 1. Chernihiv Scientific Journal (pp. 101-105). Chernihiv: CSIEM [in Ukrainian].
14. Shevchuk, S.A. (2008). Udoskonalennia upravlinnia meliorovanykh terytoriiamy na osnovi informatsiino-analitychnoi systemy ekoloho-melioratyvnoho monitorynhu [Improvement of management of reclaimed territories on the basis of information-analytical system of ecological and land reclamation monitoring]. *Extended abstract of Candidate's thesis*. Kyiv: IHM of UAAS [in Ukrainian].
15. Fernandez, G., Chescheir, G.M., Skaggs, R.W., & Amatya, D.M. (2007). Application of DRAINMOD-GIS to a lower coastal plain watershed. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50(2), 439-447.
16. Tlapakova, L. (2017). Agricultural drainage systems in the Czech landscape – identification and functionality assessment by means of remote sensing. *European Countryside*, 9, 77-98. Retrieved from <https://doi.org/10.1515/euco-2017-0005>.

17. Trevett, B. (1990). Remote sensing and geographical information systems. Their role in hydrology and environmental planning and management. *Report on workshop of International Committee for Remote Sensing and data transmission of the IAHS*, p. 8.

18. Webber, D.F., Bansal, M., Mickelson, S.K., Helmers, M.J., Arora, K., Gelder, B.K., & et al. (2018). Assessing surface flowpath interception by vegetative buffers using ArcGIS hydrologic modeling and geospatial analysis for Rock Creek watershed, central Iowa. *Agricultural and Biosystems Engineering*, 60(1), 273-283. Retrieved from https://lib.dr.iastate.edu/abe_eng_pubs/884.

А.А. Лященко, В.В. Залужна

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОСУШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ

Обоснована сервис-ориентированная архитектура системы геоинформационного мониторинга осушаемых земель с информационным взаимодействием ее компонентов в сети Интернет. Разработана структура базы геопространственных данных объектов мониторинга осушаемых земель и инженерной инфраструктуры осушаемых систем, базы данных мониторинговых наблюдений и базы данных результатов оценки, моделирования и прогнозирования эколого-мелиоративного состояния осушаемых земель и прилегающих к ним территорий. Рассмотрены подходы к реализации системы геоинформационного мониторинга на основе использования открытых базовых геопространственных данных и открытых программных средств геоинформационных систем и систем управления базами данных с функциональными расширениями для хранения и обработки геопространственных данных.

Ключевые слова: осушаемые земли, эколого-мелиоративный мониторинг осушаемых земель, геоинформационный мониторинг, геоинформационная система, база геопространственных данных.

A. Lyashchenko, V. Zaluzhna

METHODOICAL BASES GEOINFORMATION MONITORING OF DRAINED LANDS

The service-oriented architecture of the system of geoinformation monitoring of drained lands with information interaction of its components in the Internet is grounded. The structure of the geospatial data base for the objects of monitoring the drained lands and the engineering infrastructure of the drained systems, the database of the hydrographic network with the boundaries of the water basins, the database of the network of points of observation for the level of soil water, the chemical composition of the soil, soil and surface waters, the database of time series of monitoring observations and results of assessment, modeling and forecasting of the ecological and meliorative state of the drained lands and adjacent territories. The structure of the metadata database is defined as an important component for data integration and system service

management. Approaches to the implementation of the system of geoinformation monitoring based on the use of open basic geospatial data and open software tools of geoinformation systems and database management systems with functional extensions for storage and processing of geospatial data are considered.

Keywords: drained land, ecological and meliorative monitoring of drained lands, geoinformation monitoring, geoinformation system, geospatial data base.

Надійшла до редакції

30.03.2018

УДК 528.94

О.В. Гаврюшин, ст. викл. кафедри фізичної та економічної географії
Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара

УЗАГАЛЬНЕННЯ РІЗНОЧАСОВИХ ДАНИХ З ІСТОРІЇ АДМІНІСТРАТИВНО-ТЕРИТОРІАЛЬНОГО ПОДІЛУ ЗАСОБАМИ ГІС

Розглянуто питання узагальнення різночасових даних у ГІС на прикладі даних з історії адміністративно-територіального поділу. Описано конкретні види узагальнень, виділено три групи. До першої групи належать узагальнення, що здійснюються налаштуванням часу демонстрування різночасових даних включно з одночасною візуалізацією різночасових даних (суміщення різночасових даних). Друга група – узагальнення контурів змінних у часі адміністративно-територіальних одиниць. До третьої групи входять узагальнення, що полягають у розрахунку за вихідними просторово-часовими даними спеціальних показників динаміки (узагальнення непозиційних даних або кількісних та якісних характеристик об'єктів). Проаналізовано можливості застосування різних видів узагальнення різночасових даних. Виділено три рівні карт-узагальнень з історії адміністративно-територіального поділу.

Ключові слова: часова генералізація; узагальнення даних; адміністративно-територіальний поділ; історичні ГІС; аналіз просторово-часових даних.

Вступ. Використання ГІС-технологій уможливорює створення баз даних з історії адміністративно-територіального поділу, у яких описано всі його стани за певний період. Такі бази даних не тільки забезпечують створення адміністративних карт на довільно задану дату, але й відкривають широкі можливості для аналізу різночасових даних. Узагальнення даних про стан адміністративно-територіального поділу на різні дати дозволить отримати якісно нові дані і виявити особливості просторово-часового розподілу адміністративних змін.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У працях О.М. Берлянта та В.С. Тікунова [1; 2] часова (динамічна) генералізація розглядається як один з

видів генералізації динамічних геозображень – їх механічне узагальнення шляхом збільшення швидкості зміни кадрів. У часову генералізацію взагалі не включаються процеси відбору чи об'єднання різночасових даних. Існує інше розуміння часової генералізації, наприклад, G. Panopoulos, A. Stamatopoulos, M. Kavouras [3] виділяють такі операції часової генералізації, як «temporal selection» (часова вибірка), «temporal class generalisation» (часова генералізація класів), «change aggregation» (об'єднання змін), «temporal topology association» (часова топологічна асоціація). Загальні питання часової генералізації досліджував також А. Renolen [4], питання часової генералізації динамічних карт вивчав М. Monmonier [5], на актуальності розроблення теорії часової генералізації з практичним застосуванням наголошує І. Johnson [6]. Теоретичні засади узагальнення різночасових даних з історії адміністративно-територіального поділу майже не розроблені. У практиці картографування з історії адміністративно-територіального поділу, крім створення серії різночасових карт і анімацій, в основному вдаються до укладання карт, що містять контури адміністративно-територіальних одиниць на різні дати, наприклад у статті [7]. Однак сучасні геоінформаційні технології забезпечують також інші можливості, які нині є малодослідженими.

Постановка завдання. Метою дослідження є виділення видів (сторін) узагальнення різночасових даних з історії адміністративно-територіального поділу, що можуть бути реалізовані в ГІС, та з'ясування можливостей їх застосування.

Викладення основного матеріалу. Можливими є різні підходи до виділення видів часової генералізації. Як і в картографічній генералізації, одним із головних різновидів часової генералізації варто вважати відбір даних. Особливості відбору даних з історії адміністративно-територіального поділу (АТП) детальніше аналізувались у нашому попередньому дослідженні [8].

Види узагальнення даних з історії АТП розділяємо на три групи: узагальнення шляхом налаштування візуалізації об'єктів, узагальнення просторової конфігурації об'єктів та узагальнення непозиційних даних із розрахунком показників їх динамічності (непозиційне узагальнення).

Перший вид узагальнення – динамічна генералізація, або узагальнення часом показу. Узагальнення часом показу кадрів не змінює дані фізично, але впливає на їх сприйняття людиною, тому можна погодитись із О.М. Берлянтом та В.С. Тікуновим у тому, що збільшення швидкості зміни кадрів можна розглядати як своєрідне узагальнення анімацій, або, точніше, можливий спосіб узагальнення, оскільки сам по собі факт зміни часового масштабу ще не гарантує певних результатів у свідомості людини. Однак, на нашу думку, узагальнення часом показу варто розуміти ширше за рівномірне прискорення кадрів анімації з однаковою відстанню між кадрами у часі, наголос часом можна застосувати і до анімацій з різним кроком часу між кадрами, і для виділення не тільки найбільш тривалих станів, а й найбільш важливих за іншими ознаками.

Узагальнення швидкістю демонстрування має сильну альтернативу – відбір даних, замість швидкого показу маловажливих моментів їх можна не показувати зовсім, максимально зосередивши увагу користувача карти на найважливіших моментах.

Наступний вид узагальнення – повнокадрове суміщення різночасових позиційних даних. Це накладання кількох шарів даних, кожен з яких відбиває стан на певний момент часу. При цьому виконується адаптування одного чи кількох шарів до накладання – зміна кольору, стилю, товщини ліній, знезабарвлення полігонів або конвертація зафарбовування у напівпрозоре тощо. Таке узагальнення може бути реалізоване засобами більшості ГІС-програм. Об'єднувати таким способом можна не тільки дані на поточний та попередній моменти, але й на будь-які моменти взагалі, це можуть бути три моменти часу з різних періодів. Головний недолік такої часової генералізації її надлишковість у просторовому аспекті і покладання основної роботи із порівняння даних і визначення змін на користувача. Особливо складно візуально порівнювати кілька масивів різночасових даних, що мають незначні просторові відмінності та відмінності в атрибутах об'єктів. Значно доречнішим є використання повнокадрового суміщення для пошуку спільних рис у масивах даних з віддалених часових періодів.

Альтернативою повнокадровому суміщенню позиційних різночасових даних є вибіркове суміщення. При такому суміщенні в один кадр (карту) потрапляють не всі об'єкти, що існували у порівнювані моменти часу, а тільки ті, що задовольняють певним умовам, наприклад, були відсутні на першу дату, і вже існували на другу тощо. Реалізація вибіркового суміщення вимагає розроблення спеціальних програмних модулів та/або sql-запитів, конкретна реалізація прив'язана до структури бази даних.

Непозиційні дані на різні моменти часу також можуть бути суміщені і відображені на одній карті – суміщення непозиційних даних. При цьому вихідні непозиційні дані можуть зазнавати і деяких перетворень. Так, за неможливості відображення конкретного значення якісного показника можна обмежитись відображенням тільки дат його зміни.

Принципово відмінним від описаних видів генералізації є узагальнення різночасових контурів об'єктів, за якого на основі контурів адміністративно-територіальних одиниць на різні дати формуються нові просторові об'єкти. За значенням та цілями створення такі об'єкти можна розділити на кілька видів.

Перший вид просторового об'єкта, що виникає у процесі узагальнення конфігурації адміністративно-територіальних одиниць – перепідпорядкована територія. Це «просторова різниця» між об'єктом до зміни і після зміни. Виділення таких територій дає змогу наочніше відобразити сутність змін, що відбулись у певний момент часу. Карту, на якій виділено перепідпорядковані у певний момент території, можна розглядати як узагальнення двох станів АТП – до та після аналізованого моменту часу. Аналіз історії АТП за тривалий час залежно від цілей дослідження зумовлює необхідність виділення просторових об'єктів трьох типів:

- об'єкти, що відображують стабільні та мінливі в адміністративному відношенні території;
- об'єкти, що відображують узагальнені у часі контури адміністративно-територіальних одиниць;
- об'єкти, що відображують особливості перебігу зміни території

адміністративно-територіальних одиниць.

Серед об'єктів, що відображують узагальнені у часі обриси адміністративно-територіальних одиниць, виділяємо «сумарний полігон» та «прямокутник на основі середньозважених у часі координат крайніх точок».

Сумарний полігон адміністративно-територіальної одиниці – вся територія, що коли-небудь (або у вказаний період) входила до її складу. Цей просторовий об'єкт створюється шляхом об'єднання всіх полігонів, які представляють досліджуваний об'єкт у різні часи.

Прямокутник на основі середньозважених за часом координат крайніх точок – полігональний просторовий об'єкт, сторони якого є паралелями і меридіанами, значення широти чи довготи яких обчислено як середнє зважене у часі відповідних координат крайньої північної, південної, східної і західної точок адміністративно-територіальної одиниці. Цей прямокутник відображує середньочасові ліміти простягання досліджуваного об'єкта за кожною стороною горизонту. За потреби можна розрахувати середньозважені координати об'єкта і за більшою кількістю напрямків (північний схід, північний захід тощо) із побудовою багатокутника з більшою, ніж чотири, кількістю кутів і таким чином отримати середньозважені у часі контури об'єкта більш точно.

Об'єктами, що відображують особливості формування території адміністративно-територіальних одиниць є полігони єдиної історії адміністративної належності, на які може бути розділений сумарний полігон.

Полігон єдиної історії адміністративної належності (ЄІАН) – просторовий полігональний об'єкт, всі точки якого мають єдину історію адміністративної належності у досліджуваному контексті.

З геометричної точки зору полігон єдиної адміністративної належності – це полігон, що міститься у межах сумарного полігону адміністративно-територіальної одиниці (регіону) і не перетинається жодною з її історичних адміністративних меж.

Близьким поняттям до виділеного нами полігону ЄІАН є полігон найменшої спільної геометрії. Полігони найменшої спільної геометрії – це невеликі просторові об'єкти, стабільні елементи, комбінуванням яких можна створити контур будь-якої історичної адміністративно-територіальної одиниці. Розбивання простору на такі елементи є основою одного із способів представлення динаміки АТП, відомого як «spatial-temporal composite» (просторово-часові композити) [9]. Однак між найменшим стабільним елементом адміністративно-територіальних одиниць, що зберігається у базі даних, та найменшим елементом, що використовується для картографування історії формування території конкретної адміністративно-територіальної одиниці, є відмінність.

Полігони найменшої спільної геометрії виділяються за весь час, що охоплений у ГІС із потребою створити на їх основі будь-які адміністративно-територіальні одиниці, в той час як полігони ЄІАН залежно від мети можуть виділятися:

- як на певний проміжок часу так і за весь час, охоплений у ГІС;
- для конкретної адміністративно-територіальної одиниці або із врахуванням

всіх адміністративно-територіальних одиниць, що існували на досліджуваній території;

- із врахуванням або без врахування внутрішнього поділу адміністративно-територіальної одиниці.

Наприклад, для створення полігонів ЄІАН, які планується використати для відображення особливостей формування території Новомосковського району (1923-2018 рр.) не враховуються ані адміністративні межі, що існували до 1923 року, ані межі низових територіальних одиниць, з яких складається район.

Конкретна методика створення полігонів ЄІАН залежить від особливостей представлення динаміки АТП у базах даних та використовуваного програмного забезпечення. Можна запропонувати такий загальний алгоритм: відбираються всі полігони, що представляють адміністративно-територіальні одиниці, для території яких потрібно побудувати полігони ЄІАН, ці полігони перетворюються у полілінії та об'єднуються, на останньому етапі відбуваються «замикання» полілінії – створення у замкнутих нею просторах полігональних об'єктів.

Полігони ЄІАН можуть бути використані для побудови різноманітних карт, що дають змогу відтворити істотні особливості динаміки АТП. Наприклад, для кожного полігона ЄІАН може бути визначена і відображена загальна тривалість підпорядкування певній адміністративно-територіальній одиниці, кількість адміністративних перепідпорядкувань та інше.

Непозиційне узагальнення – це різновид узагальнення різночасових даних, що передбачає розрахунок на основі вихідних даних нових показників, які характеризують варіативність, середні значення чи інші аспекти вихідних даних. За допомогою такого узагальнення можна передати багато суттєвих особливостей динаміки об'єкта без відображення власне змін. Можливим є підрахунок та відображення на карті таких показників, як тривалість існування об'єкта чи його належності іншому, загальна кількість дат змін, що їх зазнавав об'єкт, середньозважена у часі площа об'єкта, перепідпорядкована площа та інші (див. табл.).

Таблиця

Непозиційне узагальнення даних з історії АТП

Об'єкти картографування	Показники
Адміністративно-територіальна одиниця у змінних межах	Середньозважена у часі площа, загальна кількість дат змін, відносна частота змін (відношення кількості дат змін до тривалості існування), тривалість існування
Територія адміністративно-територіальної одиниці у фіксованих межах	Загальна кількість дат змін, кількість полігонів ЄІАН у межах об'єкта, показник мінливості адміністративного підпорядкування
Полігони ЄІАН	Загальна кількість перепідпорядкувань, тривалість належності до адміністративно-територіальної одиниці
Адміністративні межі	Загальна тривалість існування
Точки регулярної мережі	Кількість змін, тривалість належності до певної АТО

Карти з історії АТП можна розділити на кілька рівнів за ступенем узагальнення різночасової інформації. Нульовий рівень – карта стану АТП на певну дату. Перший рівень узагальнення різночасових даних має карта, на якій різночасові дані чітко розрізняються і можуть бути легко візуально розділені. Такою є карта змін на певну дату. Другий рівень – карта, з якої неможливо встановити ситуацію на окрему дату (в основному через непевну часову ідентифікацію), однак там відображені фрагменти вихідних різночасових даних. Третій рівень – карта, з якої неможливо встановити ситуацію на окремі моменти і відображення динаміки на якій не спирається на візуалізацію вихідних різночасових даних.

Висновки. Часова генералізація включає як відбір різночасових даних, так і їх узагальнення. Якщо відбір різночасових даних дозволяє сконцентруватись на важливих у певному аспекті моментах часу і відкинути несуттєві, то узагальнення дає змогу отримати нову інформацію про досліджувану систему, зокрема виявити особливості просторово-часового розподілу змін, а також унаочнити спільні та відмінні риси між даними на різні моменти часу. Для даних з історії адміністративно-територіального поділу можуть використовуватись такі види узагальнень, як узагальнення часом показу, повнокадрове суміщення різночасових позиційних даних, вибіркове суміщення різночасових позиційних даних, суміщення непозиційних даних, узагальнення контурів адміністративно-територіальних одиниць та непозиційне узагальнення. Найбільш продуктивним для дослідження просторово-часового розподілу змін є створення на основі полігонів-контурів адміністративно-територіальних одиниць менших полігонів, всі точки яких мають одну й ту саму історію адміністративної належності (один із підвидів узагальнення контурів) та підрахунок за такими полігонами кількості перепідпорядкувань чи тривалості належності до певного просторового об'єкта (непозиційне узагальнення), що досить легко реалізується у сучасних ГІС.

Метою подальших пошуків може бути розроблення конкретних алгоритмів реалізації узагальнення даних з історії АТП відповідно до структури бази даних та можливостей конкретного програмного забезпечення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Берлянт А.М. Картографія: учеб. для вузов / А. М. Берлянт – М.: Аспект-Пресс, 2002. – 336 с.
2. Тикунов В. С. Геоінформатика: учеб. для студ. вузов / Е.Г.Капралов, А.В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др.; под ред. В. С.Тикунова. — М.: Академия, 2005. — 480 с.
3. Panopoulos, G. Spatio-temporal generalization: the chronograph application / G Panopoulos, A Stamatopoulos, M Kavouras // 2003. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.98.6312&rep=rep1&type=pdf>.
4. Renolen, A Concepts and methods for modelling temporal and spatiotemporal information / A. Renolen // Partial fulfilment for the degree “Thesis”, NTNU, 1999 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.emap.no/docs/ThesisAgnarRenolen.pdf>.

5. Monmonier. M. Temporal generalization for dynamic maps / M. Monmonier // *Cartography and Geographic Information Systems*, 23(2), 1996. p 96-98.

6. Johnson, I. Mapping the fourth dimension: a ten year retrospective / I. Johnson // «*Archeologia e Calcolatori n. XIX- 2008*», 2008 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://soi.cnr.it/archcalc/indice/PDF19/3_Johnson.pdf.

7. Троценко О.В. Дослідження змін адміністративно-територіального устрою регіону як базової складової системи втрачених географічних об'єктів (на прикладі Дніпропетровської області) / О.В. Троценко // *Наукові записки Вінницького педагогічного університету* – 2008. - Вип. 17. – С. 25-30.

8. Гаврюшин О. В. Часова генералізація у ГІС (на прикладі змін адміністративно-територіального поділу) / О. В. Гаврюшин // *Часопис картографії*. - 2016. - Вип. 13. - С. 29-43.

9. Berman, Merrick Lex. Modeling and Visualizing Historical GIS Data [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.fas.harvard.edu/~chgis/work/docs/papers/CGA_Wkshp2009_Lex_9apr09.pdf.

REFERENCES

1. Berlyant, A.M. (2002). *Kartografiya [Cartography]*. Moscow: Aspekt-Press [in Russian].

2. Tikunov. V.S., Kapralov, E.G., Koshkarev, A.V. (2005). *Geoinformatika [Geoinformatics]*. Moscow: «Akademiya» [in Russian].

3. Panopoulos, G., Stamatopoulos, A, Kavouras, M. (2003). *Spatio-temporal generalization: the chronograph application*. Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.98.6312&rep=rep1&type=pdf>.

4. Renolen, A. (1999). *Concepts and methods for modelling temporal and spatiotemporal information*. Partial fulfilment for the degree “Thesis”, NTNU. Retrieved from <http://www.emap.no/docs/ThesisAgnarRenolen.pdf>.

5. Monmonier M. (1996). Temporal generalization for dynamic maps. *Cartography and Geographic Information Systems*, 23(2), 96-98.

6. Johnson, I. (2008). Mapping the fourth dimension: a ten year retrospective «*Archeologia e Calcolatori n. XIX- 2008*» Retrieved from http://soi.cnr.it/archcalc/indice/PDF19/3_Johnson.pdf.

7. Trotsenko, O.V. (2008). Doslidzhennia zmin administrativno-terytorialnoho ustroiu rehionu yak bazovoi skladovoi systemy vtrachenykh heohrafichnykh obiektiv (na prykladi Dnipropetrovskoi oblasti) [Investigation of changes in the administrative-territorial structure of the region as the basic component of the system of lost geographic objects (for example, Dnipropetrovsk region)] *Naukovi zapysky Vinnytskoho pedahohichnoho universytetu – Scientific notes of Vinnytsya State Pedagogical University named after Michailo Kotzubynsky*. Series: Geography. Issue 17, 25-30. [in Ukrainian].

8. Havriushyn, O. (2016). Chasova heneralizatsiia u HIS (na prykladi zmin administrativno-terytorialnoho podilu) [Temporal generalization in GIS (for example of the changes of administrative-territorial division visualization)] *Chasopys kartohrafiï – Magazine of Cartography*, Issue 13, 29-43. Retrieved from http://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE

_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/ktvsh_2016_13_6.pdf [in Ukrainian].

9. Berman, Merrick Lex. (2009). Modeling and Visualizing Historical GIS Data. Retrieved from http://www.fas.harvard.edu/~chgis/work/docs/papers/CGA_Wkshp2009_Lex_9apr09.pdf.

А.В. Гаврюшин

ОБОБЩЕНИЕ РАЗНОВРЕМЕННЫХ ДАННЫХ ПО ИСТОРИИ АДМИНИСТРАТИВНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ДЕЛЕНИЯ СРЕДСТВАМИ ГИС

Рассмотрены вопросы обобщения разновременных данных в ГИС на примере данных по истории административно-территориального деления. Описаны конкретные виды обобщений, выделены три группы обобщений. К первой группе относятся обобщения, осуществляемые настройкой времени демонстрации разновременных данных, включая одновременную визуализацию разновременных данных (совмещение разновременных данных). Вторая группа - обобщение контуров изменчивых во времени административно-территориальных единиц. В третью группу входят обобщения, предполагающие расчет по исходным пространственно-временным данным специальных показателей динамики (обобщение непозиционных данных или количественных и качественных характеристик объектов). Проанализированы возможности применения различных видов обобщения разновременных данных. Выделены три уровня карт-обобщений по истории административно-территориального деления.

Ключевые слова: *временная генерализация; обобщение данных; административно-территориальное деление; исторические ГИС; анализ пространственно-временных данных.*

O. Havriushyn

GENERALIZATION OF DIFFERENT-TIME DATA ON THE HISTORY OF ADMINISTRATIVE-TERRITORIAL DIVISION IN GIS

The questions of generalization of different-time data in GIS are considered on the example of data on the history of administrative-territorial division. Specific types of generalizations are described, three groups of generalizations are distinguished. The first group includes generalizations performed by setting the time for demonstration of time-varying data including simultaneous visualization of time-varying data (combining time-varying data). The second group is a generalization of the contours of time-varying administrative-territorial units. The third group includes a generalization that assumes the calculation of the original space-time data of special indicators of dynamics (generalization of non-position data or quantitative and qualitative characteristics of objects). The possibilities of applying various types of generalization of time-varying data are analyzed. Three levels of maps-generalizations on the history of administrative-territorial division are singled out.

It is established that to display the difference between different states of

administrative-territorial division it is expedient to use generalizations of the configuration of objects with the allocation of the areas of change (re-subdivisions areas). To display the features of the territorial division of changes over a period of time, it is expedient to create special polygons based on the contours of administrative-territorial units, all points of which have the same administrative history. To display the features of the history of specific administrative-territorial units, you can use the combination of different attributive data on one card.

Key words: *temporal generalization; compilation of data; administrative-territorial division; historical GIS; analysis of space-time data.*

Надійшла до редакції

02.04.2018

УДК 528.94, 654.165

Л.В. Примак, аспірант кафедри геоінформатики та фотограмметрії,
Київський національний університет будівництва та архітектури;
керівник групи обробки регіональних моделей ПрАТ «Візіком»

ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО СКЛАДУ ТОПОГРАФІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РАДІОЧАСТОТНОГО ПЛАНУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

У статті розглянуто основні вимоги до складу та змісту топографічного забезпечення для цілей планування й оптимізації радіочастотних телекомунікаційних систем. Визначено обов'язкові та допоміжні складові геопросторових даних, використовуваних у процесі оптимізації. Побудовано загальну прикладну схему топографічного забезпечення у вигляді UML-діаграми класів і показано її зв'язок із зовнішніми пакетами, офіційно затвердженими міжнародними організаціями.

Ключові слова: *топографічне забезпечення, радіопланування, оптимізація радіомереж, ЦМР-клатер, модель перешкод, радіолокаційна перешкода, висота радіолокаційної перешкоди, ЦМП.*

Вступ. В умовах стрімкого розвитку мереж мобільного радіозв'язку п'ятого покоління (5G) у світі та впровадження 4G (LTE) зв'язку на території України особливого значення набуває створення і підтримка в актуальному стані картографічної інформації, яка лежить в основі планування, оптимізації та підтримки функціонування цих телекомунікаційних систем.

Нині основою створення топографічних карт і планів в Україні є нормативно-технічна документація [1; 2], розпочато також процес впровадження нових стандартів до геопросторових даних, що ґрунтуються на міжнародних стандартах серій ISO та Open Geospatial Consortium [3-7]. Проте ці документи не відображають специфіки радіочастотного планування, у якому основні вимоги до

топографічного забезпечення диктуються програмними алгоритмами, що реалізують оптимізацію радіомереж. Тому питання визначення необхідного та достатнього переліку топографічного забезпечення, основних вимог до його точності й актуальності є надзвичайно актуальним.

Стандарти GSM 900/1800, UMTS, CDMA2000, WiMAX, Wi-Fi, та LTE користуються діапазоном частот 800-3500 МГц; специфікації стандартів 5G рекомендують підтримку таких діапазонів радіочастот: 600МГц-700 МГц, 3.5 ГГц та 50ГГц. Однією з найпоширеніших аналітично-програмних платформ для розрахунку й оптимізації мереж стільникового зв'язку в Україні і світі загалом є Atoll Wireless Network Engineering Software виробництва компанії Forsk. Окрім Atoll Forsk, широко використовуються такі платформи, як ICS Telecom, Asset Aircomm, Mentum Planet та інші. В кожному пакеті програмного забезпечення визначено потрібні для процесу планування та оптимізації мережі вхідні формати геопросторових даних і мінімальний набір їх атрибутів.

Метою статті є формування переліку необхідних топографічних матеріалів для забезпечення задач радіочастотного планування й оптимізації телекомунікаційних систем, визначення набору даних й необхідної атрибутики класів об'єктів.

Аналіз досліджень і публікацій. Міжнародні загальні вимоги до геопросторових даних та їх якості викладено в стандартах серії ISO19100 «Географічна інформація/ Геоматика» та стандартах OGC. На їх підставі в Україні розроблено еталонну модель бази топографічних даних [8] та розпочато процес впровадження державного комплексу стандартів «База топографічних даних» [3-7]. На прикладі вказаних джерел взято UML (універсальну мову моделювання), а саме діаграму класів, під час моделювання структури геопросторових даних з метою оптимізації радіомереж та визначено найменування окремих класів та їх атрибутів.

Значну теоретичну основу досліджень становлять документи-довідники з експлуатації програмного забезпечення для оптимізації радіомереж, а саме Atoll Forsk, ICS Telecom, Asset Aircomm [9-11]. В них визначено формати геопросторових даних і подано рекомендації щодо вибору комірки даних залежно від типу території. Ця інформація потребує узагальнення з метою визначення мінімальних вимог до топографічного забезпечення.

Постановка завдання. Терміни і поняття. Основним завданням пропонованої статті є формування основних вимог до складу топографічного забезпечення радіочастотного планування телекомунікаційних систем.

Наводимо поняття, використані у статті.

Цифрова модель рельєфу (ЦМР, DTM) – набір даних про абсолютні відмітки земної поверхні без врахування штучних (будівлі, мости тощо) та динамічних (автомобілі та ін.) перешкод.

Цифрова модель поверхні (ЦМП, DSM) – набір даних про абсолютні відмітки земної поверхні з врахуванням штучних (будівлі, мости тощо) та природних (рослинність) перешкод.

Растрова модель даних [12]: растр – це $R = \langle M, P, r \rangle$ (1)

де M - матриця цілих чисел, P - множина атрибутивних характеристик кольорів, r - роздільна здатність. Елемент матриці M - піксел містить атрибутивну характеристику з множини P та визначається координатами (i, j) , де i - номер рядка у матриці M , j - номер стовпчика [15]. За допомогою UML такі растрові моделі описують у вигляді покриттів.

Покриття (coverage) – просторовий об'єкт, який діє як функція, що повертає значення зі свого діапазону значень для будь-якого положення в межах просторового, часового чи просторово-часового домену. Покриття ґрунтуються на прийнятій моделі, визначеній в Generic Conceptual Model [13].

Клатер (clutter) – модель радіолокаційних перешкод у вигляді растра, де M та P являють собою відповідно значення і множину класів перешкод, що спричиняють втрату потужності радіосигналу. Термін «clutter» належить до сфери радіолокації, використовують його як визначення для небажаних ехо-сигналів в електронних системах, особливо в радарних.

Висотний клатер (clutter height) – модель висот радіолокаційних перешкод у вигляді растра, де M являє собою значення відносних висот перешкод.

Зі стандартів [3-7] в статті використано такі поняття (стереотипи):

пакет (Package) – колекція логічно зв'язаних класів та/або пакетів;

прикладна схема (Application shema) – концептуальна схема (пакет) для даних, потрібних для роботи одного або більше програмних додатків;

лист (Leaf) – пакет, що не є прикладною схемою і не може містити інших пакетів.

Основна частина. Для діапазонів частот стандартів 2G, 3G, 4G процес оптимізації та планування радіомереж ґрунтується на побудові емпірично-математичної залежності (моделі) розповсюдження радіохвиль від частоти хвиль, дальності поширення та інших параметрів для прогнозування втрати потужності сигналу в межах певної території. Зв'язок між передавачем та приймачем моделюється за деякими ключовими параметрами, котрі змінюються залежно від середовища, місцевості (сільська чи міська забудова та її щільність, відкрита місцевість, ліс, поле тощо) та рельєфу території.

Найбільш поширеними у використанні нині є такі емпіричні моделі:

- модель SUI (Stanford University Interim);
- модель Окумура;
- модель Хата, також відома під назвою Окумура-Хата;
- модель COST231 – розширення до моделі Хата.

Дослідження оцінки моделей з точки зору точності розрахунку втрат амплітуди сигналу наведено в багатьох міжнародних друкованих та інтернет-виданнях [14-16]. Зупинимося на моделі, що найчастіше використовується в Україні та на урбанізованих територіях загалом, – моделі Хата [9]. Ця модель має три варіанти для розрахунку втрат потужності сигналу залежно від території: міська (urban), приміська (suburban) та відкрита (open area). В основі цієї моделі лежить модель Окумура та значна кількість емпіричних вимірів. Модель Хата охоплює кілька діапазонів:

- діапазон частот 150-1800МГц

- радіус комірки 1-20км
- висота антени приймача (абонентський термінал) 1-10м
- висота антени базової станції 30-200м

Середню втрату потужності сигналу в моделі Хата визначають за формулою:

$$L = A_1 + A_2 \log f + A_3 \log h_{BS} + (B_1 + B_2 \log h_{BS} + B_3 h_{BS}) \log d - a(h_m) - C_{clutter}, \quad (2)$$

де $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$ – емпірично визначені параметри (коефіцієнти) Хата для окремих частот радіохвиль; f – частота хвилі в МНz; h_{BS} – висота антени передавача в метрах; d – відстань між передавачем і приймачем в кілометрах; $a(h_m)$ – функція корекції розрахунку втрати потужності сигналу залежно від висоти антени приймача; $C_{clutter}$ – функція корекції розрахунку втрати потужності сигналу залежно від типу перешкоди (клатеру) території.

Саме функції $a(h_m)$ та $C_{clutter}$ формули (2) включають інформацію про місцевість, тобто роблять обов'язковою вимогу до наявності топографічної інформації про рельєф і тип території (клатер).

Цифрова модель рельєфу в радіочастотному плануванні стільникової мережі нічим не відрізняється від звичного аналогу в картографічній сфері, її єдина суттєва особливість – обов'язкове растрове представлення інформації. Рекомендації щодо розміру роздільної здатності залежно від заселеності території наведені в документації з експлуатації програмного забезпечення для оптимізації радіомереж. Величина роздільної здатності коливається від 1-2 м на щільно урбанізованих територіях до 50 м в малозаселених зонах.

Клатер території також має вигляд растра з вимогами до роздільної здатності аналогічно до цифрової моделі рельєфу, в якому кожна комірка визначає клас місцевості. Перелік класів задається в межах території планування й оптимізації, кількість класів залежить від заселеності території і коливається від 10 в малозаселених зонах до 40 в щільно забудованих районах. В таблиці наведено типовий перелік класів клатеру.

Таблиця

Типовий перелік класів клатеру

Код класу	Назва класу	Опис класу
1	Open area	Відкрита територія, луки, поля тощо
2	Forest	Ліси з висотою дерев понад 20м
3	Sea	Океани, моря
4	Inland water	Водосховища, озера, річки, струмки
5	Open in urban	Дороги, залізниці тощо
6	Residential	Міська приватна забудова висотою до 3-х поверхів
7	Dense residential	Щільна міська приватна забудова заввишки до 3-х поверхів
8	Urban	Міська забудова висотою 3-6 поверхів
9	Dense urban	Щільна міська забудова висотою 3-7 поверхів

Продовження табл.

10	Urban high	Висотна міська забудова висотою понад 7 поверхів
11	Dense urban high	Щільна висотна міська забудова заввишки понад 7 поверхів
12	Mixed urban	Змішана забудова заввишки 1-6 поверхів
13	Mixed dense urban	Щільна змішана забудова висотою 1-6 поверхів
14	Industrial and commercial areas	Промислові зони
15	Villages	Сільська забудова
16	Airport	Території аеропортів
17	Semi open area	Напіввідкриті території (кущі, окремі дерева тощо)
18	Sands, Stonelands	Піски, пустельні землі

Безпосередньо в програмному забезпеченні для планування й оптимізації радіомереж для кожного класу визначають (або встановлюють за замовчуванням) такі параметри: середня відносна висота в метрах і стандартне відхилення моделі (в дБ).

Для уточнення інформації про відносну висоту клатеру в межах класу, особливо на міських територіях, використовують такий тип даних, як висотний клатер. Висотний клатер, як правило, обмежений тими класами клатеру, що належать до забудови і рослинності.

Окрім безпосереднього планування радіомереж, згадане топографічне забезпечення (DTM, клатер, висотний клатер) може бути використане для калібрування основної моделі Хата в межах території оптимізації. Калібрування моделі, або іншими словами, уточнення коефіцієнтів Хата A_1 , A_2 , A_3, B_1, B_2, B_3 , проводиться із залученням польових вимірів в межах покриття однієї/декількох базових станцій.

Разом три набори даних – DTM, клатер і висотний клатер – становлять цифрову модель поверхні (DSM), хоча DSM як один набір даних поки що широко не використовують в згаданих програмних алгоритмах для планування й оптимізації радіомереж.

Додатковими під час планування й оптимізації радіомереж є такі типи геопросторових даних:

1. Дані, які використовують для вимірювання віддалей, планування маршрутів до базових станцій тощо:

– векторні шари геопросторових об'єктів: будівлі, дороги, залізниці, берегові лінії водойм тощо.

2. Дані для розрахунку статистичної інформації:

– карта населення (population clutter), що являє собою растр, обмежений визначеними класами клатеру, в якому матриця M характеризує інформацію про щільність населення;

- інші тематичні карти у вигляді растру, наприклад, кількість опадів, середній розмір доходу або соціально-демографічні дані в межах класу;
 - векторні шари адміністративно-територіального поділу території.
3. Дані для кращої візуалізації результатів планування:
- скановані з паперових носіїв карти;
 - аеро - та космічні ортофотоплани;
 - векторні шари адміністративно-територіального поділу території, доріг, залізниць, берегові ліній водойм.

Отже, загальна прикладна схема (applicationSchema) топографічного забезпечення для цілей планування й оптимізації мереж стільникового зв'язку матиме такий вигляд (рис.1):

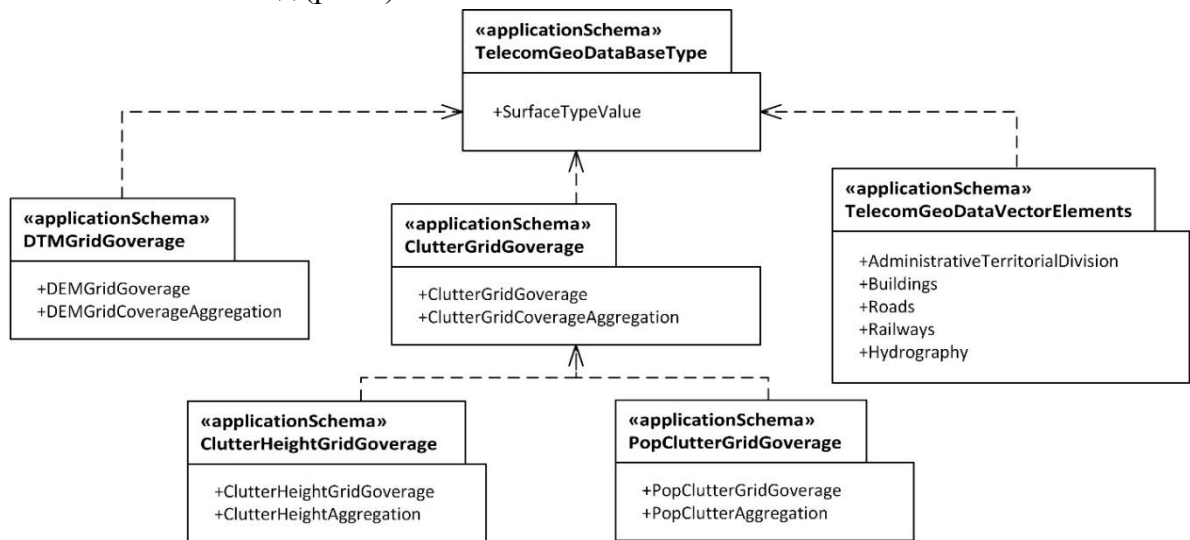


Рис. 1. UML-діаграма класів. Загальний вигляд прикладної схеми топографічного забезпечення для цілей радіопланування й оптимізації телекомунікаційних систем

На рис. 1 прикладна схема TelecomGeoDataBaseType визначає основний перелік типів даних. Прикладні схеми DTMGridCoverage, ClutterGridCoverage, ClutterHeightGridCoverage та PopClutterGridCoverage складають моделі даних відповідно DTM, клатеру, висотного клатеру та розподілу населення в растровому вигляді, що представлені як неперервне покриття.

Класи прикладних схем DTMGridCoverage, ClutterGridCoverage, ClutterHeightGridCoverage та PopClutterGridCoverage можуть бути аналогічними класу сіткова регулярна модель (GRID-модель) [6], у якій будова матриці значень залежить від величин відповідно абсолютної відмітки поверхні, коду класу клатеру (див. табл.), відносної відмітки висотного клатеру чи значення щільності населення. Класи прикладної схеми GeoDataVectorElements є скороченим варіантом класів [4; 5; 7] в розділі атрибутивних даних.

На рис. 2 відображено зв'язок пакета TelecomGeoDataTypes з іншими зовнішніми пакетами та вказано джерело запозичення класів (Generic Conceptual Model, ISO-стандарти, тощо).

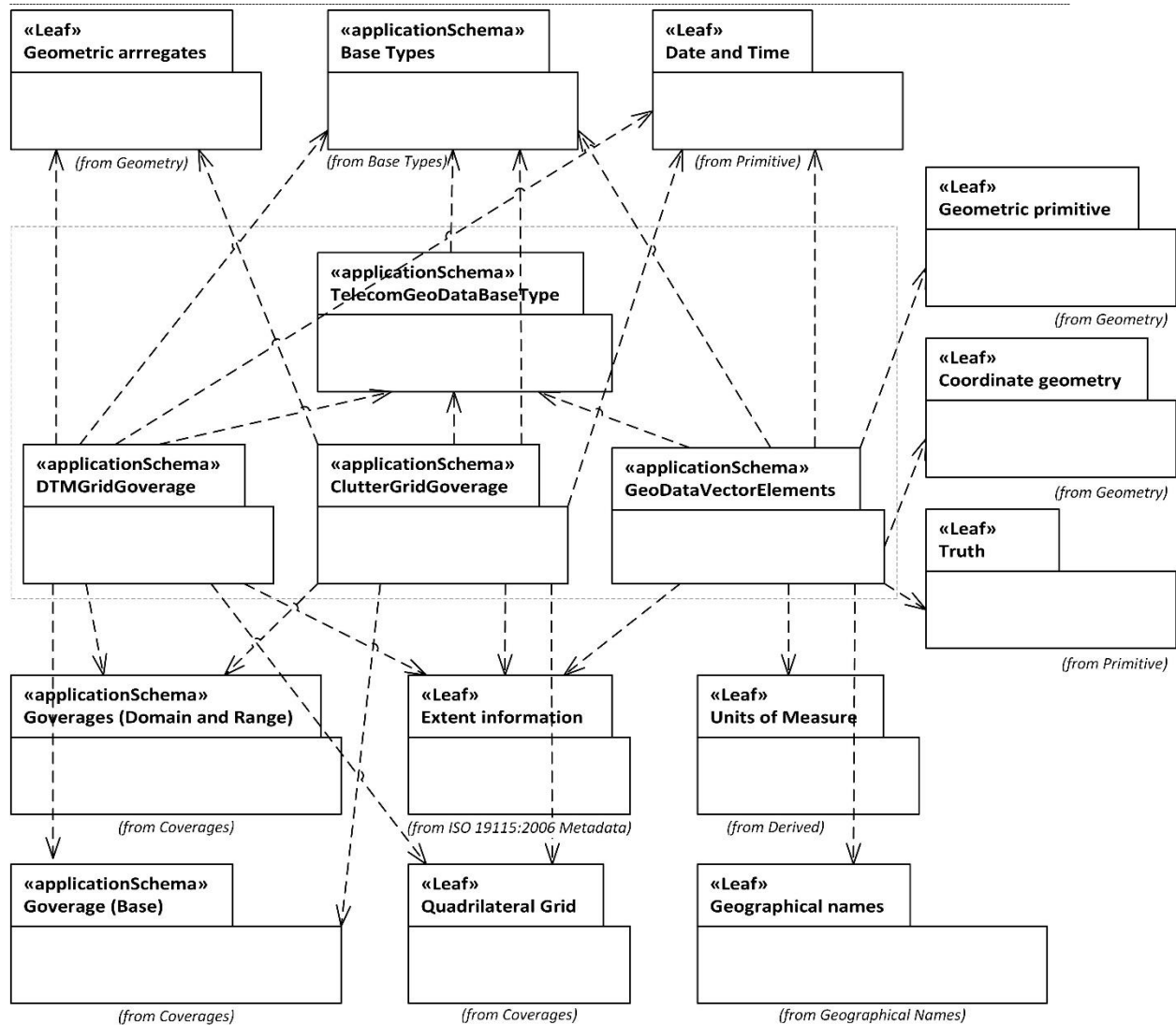


Рис. 2. Залежність пакета TelecomGeoDataTypes

Висновки. Стрімкий розвиток 4G-технологій ставить власні вимоги до топографічного забезпечення для цілей планування й оптимізації стільникових мереж. В статті визначено основні вимоги до складу топографічного забезпечення, наведено перелік і схему обов'язкових і додаткових класів у вигляді UML-діаграми класів. Вимоги до складу, форми подання, точності та роздільної здатності, актуальності та інших характеристик геопросторових даних для радіочастотного планування є темою подальших досліджень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *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.*

2. *Основні положення створення топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000 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.

3. *COV 71.12 – 37-944:2014*, 2014: База топографічних даних. Загальні вимоги. Стандарт Мінагрополітики України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nsdi.land.gov.ua/files/legislation/b691cae0-0a8b-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf>.

4. База топографічних даних. Правила кодування та цифрового опису векторних даних. Книга 1, Стандарт Мінагрополітики України, 2014, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nsdi.land.gov.ua/files/legislation/8252efa0-0a8d-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf>

5. База топографічних даних. Правила кодування та цифрового опису векторних даних. Книга 2, Стандарт Мінагрополітики України, 2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nsdi.land.gov.ua/files/legislation/4d624600-0a8e-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf>

6. *COV 71.12-37–948:2014*: База топографічних даних. Правила цифрового опису рельєфу. Стандарт Мінагрополітики України, 2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nsdi.land.gov.ua/files/legislation/469a8b80-0a8d-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf>.

7. *COV 71.12–37– 949:2014*: База топографічних даних. Каталог об'єктів і атрибутів. Стандарт Мінагрополітики України, 2014 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nsdi.land.gov.ua/files/legislation/6e82cda0-0a8e-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf>.

8. Карпінський Ю.О. Еталонна модель бази топографічних даних / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко, Р. В. Рунець // Вісник геодезії та картографії. - 2010. - № 2. - С. 28-36.

9. *Atoll 3.2.1 Model Calibration Guide*, Release AT321_MCG_E2 (May, 2014).- Forsk.- 2014. - Р. 94.

10. *ICS telecom nG User Manual*, Part 1.- ATDI.- 2006.- Р. 308.

11. *Enterprise User Reference Guide*, Software version 8.1, Reference Guide Edition 4.- AIRCOM International Ltd. - 2014. - Р. 426.

12. Карпінський Ю.О. Трансформування растрових моделей цифрових карт і планів. / Ю.О Карпінський, О.Г. Грачов //Вісник геодезії та картографії. - 2001. - №3. - С. 65-73.

13. *INSPIRE D2.5: Generic Conceptual Model*, Version 3.4rc3, 2013-04-05 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/D2.5_v3.4rc3.pdf.

14. Ákos Milánkovich, Károly Lendvai, Sándor Imre, Sándor Szabó Radio propagation modeling on 433 MHz, Materials of International Conference, EUNICE 2012, Budapest, 2012, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dl.ifip.org/db/conf/ifip6-6/eunice2012/MilankovichLIS12.pdf>.

15. *Thomas Schwengler*, Wireless & Cellular Communications, Version 3.9, Telecommunication Systems Laboratory, Colorado, USA, 2016, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://morse.colorado.edu/~tlen5510/text/classwebch3.html#x14-570003.3.2>

16. M. S. Shairudin, N. M. Din, N. A. M. Radzi, I. S. Mustafa. Comparison of propagation path loss models on outdoor wireless LAN Applications in rural areas, The 3rd National Graduate Conference (NatGrad2015), Universiti Tenaga Nasional, Putrajaya Campus, Malaysia, P. 344-348.

REFERENCES

1. Osnovni polozhennya stvorenniya ta onovlenniya topografichnyh kart mashtabiv 1:10°000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000. [Main requirements for creating and updating of topographical maps scale of 1:10°000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000]. (2002). *Topografo-heodezychna ta kartografichna diyalnist: Zakodavchi ta normatyvni akty – Geodetic and cartographical activity: Law and normative acts*. Vinnytycia: Anteks, part 2, 171-188 [in Ukrainian].

2. Osnovni polozhennya stvorenniya ta onovlenniya topografichnyh planiv mashtabiv 1:°5°000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 та 1: 500. [Main requirements for creating and updating of topographical plans scale of 1:°5°000, 1: 2 000, 1: 1 000 , 1: 500]. (2002). *Topografo-heodezychna ta kartografichna diyalnist: Zakodavchi ta normatyvni akty – Geodetic and cartographical activity: Law and normative acts*. Vinnytycia:Anteks, part 2, 84–89 [in Ukrainian].

3. Baza topohrafichnyh danyh. Zahalni vymohy [Topographical data base. General Requirements]. (2014). Standard of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine, *SOU 71.12 – 37-944:2014*. Retrieved from <http://nsdi.land.gov.ua/files/legislation/b691cae0-0a8b-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf> [in Ukrainian].

4. Baza topohrafichnyh danyh. Pravyla koduvanya ta tsyfrovoho opysu vektornyh danyh. Knyha°1. [Topographical data base. Rules of coding and digital description of vector data. Book°1]. (2014). Standard of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. Retrieved from <http://nsdi.land.gov.ua/files/legislation/8252efa0-0a8d-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf> [in Ukrainian].

5. Baza topohrafichnyh danyh. Pravyla koduvanya ta tsyfrovoho opysu vektornyh danyh. Knyha°2 [Topographical data base. Rules of coding and digital description of vector data. Book°2]. (2014). Standard of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine. Retrieved from <http://nsdi.land.gov.ua/files/legislation/4d624600-0a8e-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf> [in Ukrainian].

6. Baza topohrafichnyh danyh. Pravyla tsyfrovoho opysu relyefu [Topographical data base. Rules of digital description of relief data]. (2014). Standard of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine, *SOU°71.12°-°37°–°948:2014*. Retrieved from <http://nsdi.land.gov.ua/files/legislation/469a8b80-0a8d-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf> [in Ukrainian].

7. Baza topohrafichnyh danyh. Katalog obyektiv ta atrybutiv [Topographical data base. Catalog of objects and attributes]. (2014). Standard of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine , *SOU°71.12°-°37°– 949:2014*. Retrieved from <http://nsdi.land.gov.ua/files/legislation/6e82cda0-0a8e-11e8-a9c9-d16a7205336d.pdf> [in Ukrainian].

8. Karpinskyi Yu. O., Lyashchenko.A.A., Runets R. V. (2010). Etalonna model bazy topografichnykh danykh [The reference model of topographical data base]. *Visnyk geodeziyi ta kartografiyi – Geodesy and Cartography Digest*, 2(65), 28-36 [in Ukrainian].
9. Atoll 3.2.1 Model Calibration Guide, Release AT321_MCG_E2 (2014). Forsk.
10. ICS telecom nG User Manual, Part 1. (2006). ATDI.
11. Enterprise User Reference Guide, Software version 8.1, Reference Guide Edition 4. (2014). AIRCOM International Ltd.
12. Karpinskyi Yu. O. & Hrachov O.H. (2001). Transformuvannya rastrovnykh modelei tsyfrovnykh kart i planiv [The transformation of raster models of digital maps]. *Visnyk geodeziyi ta kartografiyi – Geodesy and Cartography Digest*, 3, 65-73 [in Ukrainian].
13. INSPIRE D2.5: Generic Conceptual Model, Version 3.4rc3. (2013). Retrieved from http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/D2.5_v3.4rc3.pdf.
14. Ákos Milánkovich, Károly Lendvai, Sándor Imre, Sándor Szabó (2012). Radio propagation modeling on 433 MHz. *Materials of International Conference, EUNICE*. Retrieved from <http://dl.ifip.org/db/conf/ifip6-6/eunice2012/MilankovichLIS12.pdf>.
15. Thomas Schwengler (2016). Wireless & Cellular Communications, Version 3.9, Telecommunication Systems Laboratory, Colorado, USA. Retrieved from <http://morse.colorado.edu/~tlen5510/text/classwebch3.html#x14-570003.3.2>.
16. Shairudin M. S., Din N. M., M. Radzi N. A., Mustafa I. S. (2015). Comparison of propagation path loss models on outdoor wireless LAN Applications in rural areas, *The 3rd National Graduate Conference (NatGrad2015)*, Universiti Tenaga Nasional, Putrajaya Campus, Malaysia, 344-348.

Л.В. Примак

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ РАДИОЧАСТОТНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В статье рассмотрены основные требования к составу и содержанию топографического обеспечения для целей планирования и оптимизации радиочастотных телекоммуникационных сетей. Обязательное наличие топографических данных было аргументировано их наличием как функций в эмпирических моделях для расчета потерь амплитуды радиосигнала. Определены обязательные (цифровая модель рельефа, клаттер, высотный клаттер) и второстепенные (карта распределения населения, векторные данные дорожной и гидрографической сети, административно-территориальное деление и другие) составляющие геопространственных данных, используемых в процессе оптимизации. Указан типичный перечень кодов клаттера и даны пояснения значений кодов. Построена прикладная схема топографического обеспечения TelecomGeoDataBase в виде UML-диаграммы классов и указаны ее связи с внешними пакетами - Generic Conceptual Model [DS-D2.5], ISO-стандартами и другими.

Ключевые слова: топографическое обеспечение, радиопланирование, оптимизация радиосетей, DTM, клаттер, модель препятствий, радиолокационное препятствие, высота радиолокационных препятствий, высотный клаттер, DSM.

L. Prymak

**THE MAIN REQUIREMENTS FOR TOPOGRAFIC COMPONENTS
FOR THE PURPOSES OF RADIO NETWORK PLANNING AND
OPTIMIZATION**

The article considers the main requirements for the topographic data content, which is the base of radio network propagation and optimization. The availability of topographic data was argued by their presence as functions in empirical models for computing a path loss exponent. Digital terrain model, clutter, clutter height were defined as mandatory components for the purposes of radio planning and optimization. DTM, clutter and clutter height together were defined as digital surface model but the direct use of DSM in present software platforms is not widespread yet. The typical list of clutter codes and their description was given. Optional list of spatial data such as population clutter, roads and hydrography vector datasets, administrative territorial division and others was defined as well. The application schema TelecomGeoDataBase was organized as UML class diagram. The structures of main UML classes DTMGridCoverage, ClutterGridCoverage, ClutterHeightGridCoverage and PopClutterGridCoverage were proposed. The dependencies between TelecomGeoDataDase package and other external packages (from Generic Conceptual Model [DS-D2.5], ISO standards and others) were described.

Keywords: topographic data, radio planning and optimization, DTM, clutter, clutter height, radio obstacle, DSM

Надійшла до редакції

13.04.2018

Н. Ю. Лазоренко-Гевель, канд. техн. наук, доцент,

І.О. Галіус, студент

кафедра геоінформатики і фотограмметрії

Київський національний університет будівництва і архітектури

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ БАЗИ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ БУДІВЕЛЬ І СПОРУД

У статті розглянуто процес створення геоінформаційних моделей бази геопросторових даних (БГД) будівель і споруд як складової єдиної цифрової топографічної основи України, яка на даний час знаходиться на стадії проектування. Проектування виконано відповідно до міжнародних стандартів серії ДСТУ ISO 19100 «Географічна інформація/Геоматика» специфікацій INSPIRE Data Specification on Buildings та ELF Data Specification.

Планується, що запроектована база геопросторових даних будівель і споруд може бути використана у складі геоінформаційної системи (ГІС) або як окрема спеціалізована БГД, яку можна було б гармонізувати з іншими БГД і кадастрами, наприклад, з містобудівним кадастром.

Наведено також результати дослідної реалізації запроектованої БГД будівель і споруд, розроблено технологічні моделі геоопрацювання з метою наочного відображення можливостей БГД і результатів їх застосування.

Ключові слова: база геопросторових даних, будівлі та споруди, цифрова топографічна основа.

Вступ. Інтеграція України в Європейське співтовариство і необхідність комплексного розвитку населених пунктів потребують вивіреної політики з боку органів виконавчої влади регіонального, субрегіонального та базового рівнів. Управління населеним пунктом — це складний процес, неможливий без достовірних даних про поточний стан справ, ефективних механізмів їх оброблення та чіткої взаємодії різних підрозділів і служб населеного пункту. Тому обов'язковою умовою ефективного управління навіть невеликим населеним пунктом є створення сучасних інформаційних систем, розробка ефективних механізмів збирання, опрацювання та видачі інформації.

Таким чином, актуальність теми статті зумовлена необхідністю підвищення ефективності комплексного управління територіями населених пунктів на основі використання баз геопросторових даних і геоінформаційних систем, розроблених на єдиній цифровій топографічній основі, яка нині в Україні тільки проектується. Тому проектування та реалізація таких БГД, зокрема будівель і споруд, є нагальною потребою.

Отримана за допомогою баз геопросторових даних інформація гарантує інвесторів надійність його вкладень, дає змогу раціонально розпоряджатися коштами. Створення БГД будівель і споруд забезпечить організації, що веде облік об'єктів нерухомості і реєстрацію прав на них, інформацією, потрібною для

проведення ними масової й індивідуальної оцінки об'єктів нерухомості, даними про стан і розвиток будівель і споруд в населеному пункті.

Метою статті є створення геоінформаційних моделей бази геопросторових даних будівель та споруд як складової єдиної цифрової топографічної основи України, та їх дослідна реалізація на прикладі району м. Києва.

Аналіз досліджень і публікацій. Основними законодавчими актами для проектування бази геопросторових даних будівель та споруд є Державний класифікатор будівель і споруд (ДК БС) ДК 018-2000, «Порядок загальнодержавного топографічного і тематичного картографування», затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 4 вересня 2013р. №661; Основні положення створення топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500 (затверджені наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України від 24.01.94 №3); Основні положення створення та оновлення топографічних карт масштабів 1:10000, 1:25000, 1:50000, 1:100000, 1:200000, 1:500000, 1:1000000 (затверджені наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру України №156 від 31.12.1999р. і погоджені з Воєнно-топографічним управлінням Генерального штабу Збройних сил України); Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21 листопада 2007р. №1021-р Про схвалення Концепції проекту Закону України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» (із змінами, внесеними згідно з Розпорядженням КМУ №464-р від 26.06.2013); міжнародні стандарти серії ДСТУ ISO 19100 «Географічна інформація/Геоматика» специфікації D2.8.III.2 INSPIRE Data Specification on Buildings – Technical Guidelines та ELF Data Specification.

Перелік нормативного забезпечення, яким будуть керуватися органи, підрозділи та служби в процесі використання БГД будівель та споруд, такий: Закони України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» №353-XIV від 23.12.1998р., «Про основи містобудування» №2781-XII від 16.11.1992р., «Про регулювання містобудівної діяльності» №3038-VI від 17.02.2011р., «Про архітектурну діяльність» №687-XIV від 20.05.1999 р., Постанова Кабінету Міністрів України від 25.05.2011 №548 «Про затвердження Порядку проведення експертизи містобудівної документації», Постанова Кабінету Міністрів України від 25.05.2011р. №559 «Про містобудівний кадастр», державні будівельні норми та інша нормативна документація, визначена чинним законодавством.

На підставі аналізу нормативно-методичної документації зроблено висновок, що існуюча нормативно-технічна база будівель і споруд не повною мірою відповідає сучасним вимогам технічного нормування та стандартизації, не відображає стану інженерно-технічного оснащення будівельної бази, а також змін у чинному законодавстві. Більшість існуючих нормативів державної та відомчої систем технічного нормування і стандартизації потребує удосконалення і розвитку.

Від вересня 2015 року в Україні успішно відбувається формування базових геопросторових даних як єдиної цифрової топографічної основи в рамках українсько-японського проекту «Створення національної інфраструктури геопросторових даних в Україні» [7].

Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру і Японське агентство міжнародного співробітництва (JICA) 22.02.2018 репрезентували прототип Національної інфраструктури геопросторових даних, створений на територію 12 км² у Вінницькій області. Проект був представлений на міжнародній конференції «НІГД: на шляху до інформаційного суспільства».

Завданнями статті є аналіз сучасного стану інформатизації будівель і споруд в Україні; створення геоінформаційних моделей БГД будівель і споруд та її дослідна реалізація на прикладі району м. Києва; застосування спеціалізованих функцій геопросторового аналізу та моделювання для проведення досліджень над реалізованою БГД будівель і споруд.

Основна частина. Терміни «будівля» і «споруда» використовують як синоніми, проте насправді їх значення згідно з «Державним класифікатором будівель та споруд» є дещо відмінним.

Споруди — це будівельні системи, пов'язані з землею, створені з будівельних матеріалів, напівфабрикатів, устаткування й обладнання в результаті виконання різноманітних будівельно-монтажних робіт.

Будівлі — це споруди, що складаються з несучих й огорожувальних або сполучених (несучо-огорожувальних) конструкцій, які утворюють наземні або підземні приміщення, призначені для проживання або перебування людей, розміщення устаткування, тварин, рослин, а також предметів. Будівлі поділяються на житлові і нежитлові.

Інженерні споруди — це об'ємні, площинні або лінійні наземні, надземні або підземні будівельні системи, що складаються з несучих і в деяких випадках огорожувальних конструкцій, призначені для виконання виробничих процесів різного виду, розміщення устаткування, матеріалів та виробів, для тимчасового перебування і пересування людей, транспортних засобів, вантажів, переміщення рідких та газоподібних продуктів тощо. До інженерних споруд належать: транспортні споруди, трубопроводи, комунікації та лінії електропередачі, комплексні промислові та інші споруди.

За функціональним призначенням будівлі поділяють на дві групи: цивільні й виробничі. До цивільних належать будівлі, призначені для обслуговування побутових, комунальних і суспільних потреб людей, зокрема житлові й громадські будівлі. Виробничі будівлі поділяють на промислові й сільськогосподарські. У промислових будівлях виконують різноманітні процеси, пов'язані з виробництвом сировини, її обробкою і виготовленням продукції. До промислових будівель близькими за характером і призначенням є сільськогосподарські будівлі. Сільськогосподарські будівлі та споруди призначені для різних галузей сільськогосподарського виробництва [2].

Як відомо, проектування БГД охоплює визначення стратегії, аналіз програмного забезпечення, концептуальне, логічне і фізичне моделювання [6].

Першим етапом є визначення стратегії. БГД будівель і споруд, призначена для розв'язання завдань з підтримання в актуальному стані й уніфікації різних за типом і походженням даних про будівлі і споруди на єдиній цифровій топографічній основі, забезпечення потрібного рівня взаємодії різних підрозділів органів місцевого управління, інших підприємств й установ, що забезпечують

життєдіяльність населеного пункту та використовують у своїй повсякденній діяльності дані про будівлі і споруди. Потенційними користувачами даної БГД є всі громадяни, суб'єкти господарювання, органи державної влади та місцевого самоврядування.

Запроектована концептуальна модель бази геопросторових даних будівель і споруд (рис.1) складається з сутностей, їх атрибутів та зв'язків між ними. Загалом модель налічує 12 класів об'єктів та 27 зв'язків, 13 з яких — успадкування, а також вказані сім класів об'єктів без атрибутивних значень, які належатимуть до відповідних класів. Назви класів об'єктів відображені українською мовою для узагальнення змісту інформації, яка буде зазначена в цих класах [3-5].

У процесі розроблення БГД структурування географічної інформації виконано відповідно до INSPIRE, оскільки це інструкція щодо створення БГД будівель і споруд, у якій, зокрема, наведені обов'язкові до застосування об'єкти та їх атрибути [8; 9]. Об'єкти й атрибути, відсутні у згаданій специфікації, були запроектовані самостійно з огляду на необхідність їх використання в цій БГД. Зважаючи на те, що дослідна реалізація БГД буде виконуватися в програмному забезпеченні ArcGIS 10.2, для розроблення каталогу використано типи даних, використовувані у цьому програмному забезпеченні. Загалом розроблений каталог налічує 12 класів об'єктів.

У логічній моделі об'єкти реального світу класифіковано відповідно до міжнародного стандарту ДСТУ ISO 19110:2017 (ISO 19110:2016, IDT) «Географічна інформація. Методологія каталогізації об'єктів та запроектованого каталогу об'єктів та атрибутів» [4; 5].

У розробленій логічній моделі так само, як і в концептуальній, відображено 12 класів об'єктів та 26 зв'язків, а також сім класів об'єктів, що належатимуть до відповідних класів. Однак на відмінну від концептуальної моделі на логічній моделі назви об'єктів відображені такими, якими вони будуть створені у БГД, а також зазначені типи даних атрибутивних значень відповідно до запроектованого каталогу об'єктів й атрибутів. Ще однією особливістю логічної моделі є зазначення перед назвою класу об'єкта його типу, тобто типу даних, які будуть заноситися до даного класу. У цій моделі всі дані поділяють на два класи: *featureType* і *datatype*. У процесі реалізації моделі клас об'єкта *featureType* у СКБД буде створюватися як просторовий шар з відповідною геометрією, а клас *datatype*, який містить атрибутивну інформацію, як таблиця даних [1].

Дослідну реалізацію бази геопросторових даних будівель і споруд здійснено на прикладі ділянки в м.Києві в середовищі ArcGIS 10.2, оскільки цей програмний продукт є комплексною системою, яка дає змогу розв'язувати надскладні завдання, пов'язані з аналізом і моделюванням. Зазначена версія забезпечує легкість використання програмного продукту, потужніші інструменти аналізу, а також додаткові ГІС-застосування. Дослідну реалізацію проведено шляхом створення файлової бази геоданих.

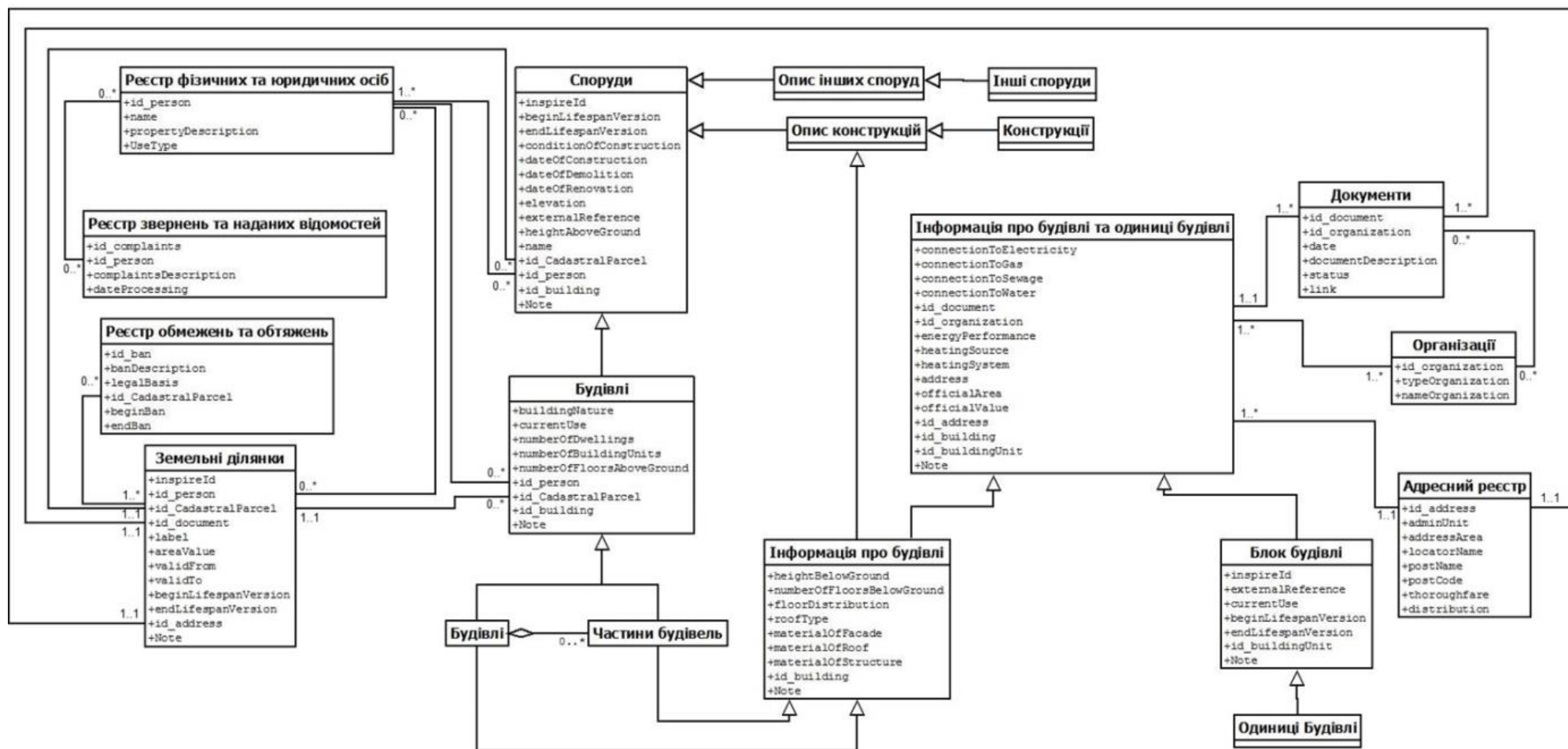


Рис.1. Концептуальна модель БГД будівель та споруд

Як приклад бази геоданих й один просторовий об'єкт з його атрибутами створено шляхом використання моделі ModelBuilder. Інші об'єкти бази даних створено за допомогою ArcCatalog, оскільки процес створення всіх елементів БГД з використанням моделі ModelBuilder або коду Python є досить трудомістким. Однак перевагою моделі та коду є можливість за потреби швидко створити або оновити БГД [10; 11].

Як видно з рис.2, створюючи елементи БГД за допомогою ArcCatalog, можна одразу вказати всі потрібні поля, які будуть присутні в шарі/таблиці. Це значно прискорює процес створення БГД порівнянно з використанням моделі ModelBuilder, у якій кожне поле додається окремо.

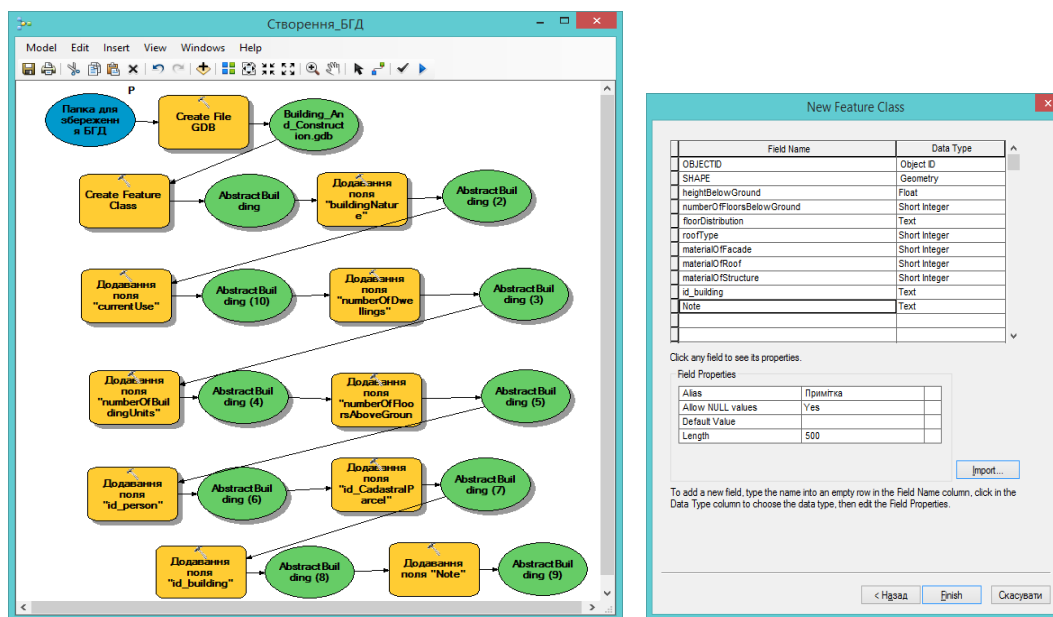


Рис.2. Дослідна реалізація БГД будівель і споруд

Після завершення формування структур шарів і таблиць БГД виконано встановлення зв'язків між ними відповідно до запроєктованих моделей. Зв'язки в ArcGIS встановлюють шляхом створення класу відношень об'єктів (Relationship Class).

У результаті реалізації запроєктованої БГД будівель і споруд отримано сім шарів просторових об'єктів, п'ять таблиць та 18 класів відношень.

Потім виконано наповнення створеної бази геоданих шляхом копіювання необхідних об'єктів з вихідних шарів до БГД та заповнення необхідної атрибутивної інформації.

На рис.3 наведено вміст бази геоданих, шарів і приклад ідентифікації об'єкта, на якому зображено результат встановлення зв'язків між елементами БГД, а також результат роботи гіперпосилання на файл у сховищі даних.

Для наочного відображення функціональних можливостей БГД будівель і споруд були вирішені такі завдання із застосуванням просторового аналізу:

1. Розрахунок кількості, щільності та площі забудови на дослідній території.

2. Пошук вільної і найбільш сприятливої (вигідної) ділянки для будівництва (чи відкриття магазину, офісу тощо).

3. Визначення пішохідної доступності.

4. Вибірка будівель, розміщених в санітарно-захисних зонах та зонах обмеження забудови.

Далі в статті наведено деякі приклади реалізації зазначених вирішених завдань.

Розрахунок кількості, щільності та площі забудови на дослідній території виконано за допомогою моделі ModelBuilder (рис.4, а). В моделі для розрахунку кількості та щільності забудови вхідними даними є шари «Будівлі» та «Земельні ділянки».

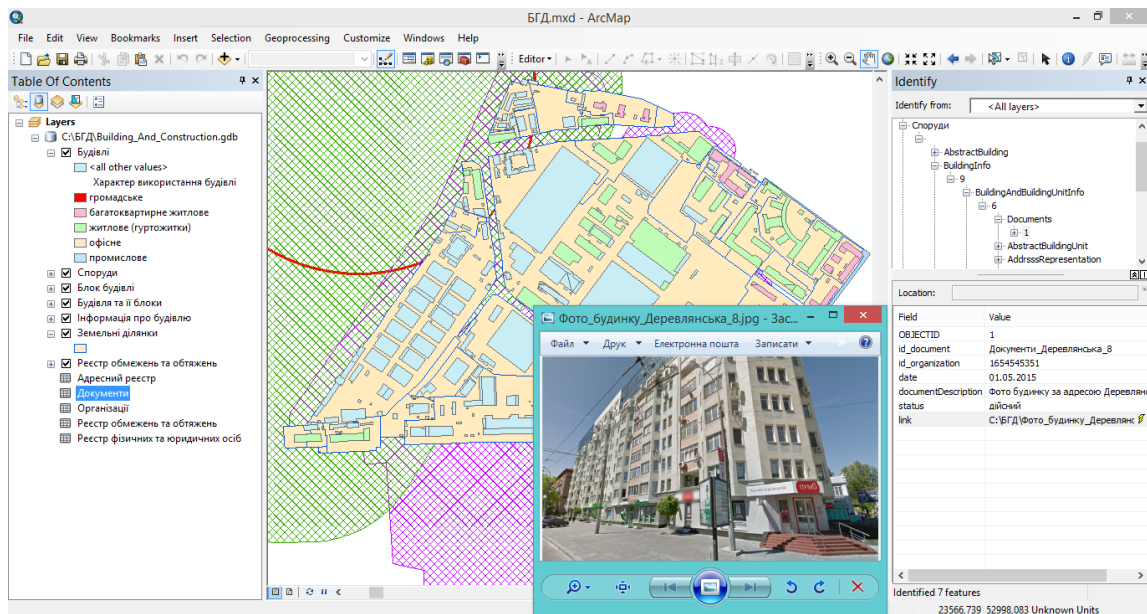


Рис.3. Результат реалізації БГД будівель і споруд

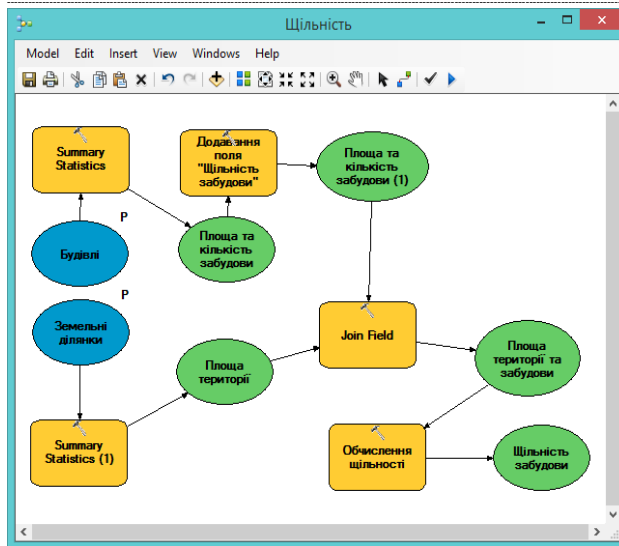
Для цих шарів виконують розрахунок статистики, а саме визначають кількість будинків, площу забудови та площу земельних ділянок відповідно. Після цього в таблицю статистики будівель було додане поле «Щільність» та виконане приєднання до даної таблиці поля з площею земельних ділянок.

Останньою операцією є обчислення щільності за формулою:

$$\text{«(Площа_забудови} \cdot 100) / \text{Площа_ділянок»}.$$

У результаті роботи моделі отримуємо таблицю (рис.4, б) в якій відображені дані, котрі треба було визначити, а саме:

- кількість об'єктів забудови – 523;
- площа забудови – 305901,37м²;
- площа території – 861039,85м²;
- щільність забудови – 35,53%.



Table

Щільність_забудови

ОБ'ЄКТ	Кількість забудови	Площа забудови	Площа території	Щільність_забудови
1	523	305901.374889	861039.85231	35.53

(0 out of 1 Selected)

а

б

Рис.4. Розрахунок кількості об'єктів, площі та щільності забудови:
а – моделі розрахунку в ModelBuilder; б – отримана в результаті розрахунку атрибутивна таблиця

Задачу з визначення вільних від забудови територій та санітарно-захисних зон виконано також за допомогою моделі ModelBuilder, в якій основною операцією є застосування інструмента «Erase» (Стирання) (рис.5). Вхідними даними є шари «Будівлі», «Земельні ділянки», «Реєстр обмежень та обтяжень». За допомогою інструмента «Erase» спочатку з шару земельних ділянок видалено будівлі. В результаті отримано шар територій, вільних від забудови. Після цього з результативного шару в попередній операції видалено ділянки, які знаходяться в санітарно-захисних зонах або зонах обмеження забудови і в результаті одержано шар територій, вільних від забудови та санітарно-захисних зон. Результат виконання завдання у вигляді двох шарів зображено на рис.5: темнішим кольором позначено територію, вільну від забудови, світлішим — територію, вільну від забудови, санітарно-захисних зон та зон обмеження забудови.

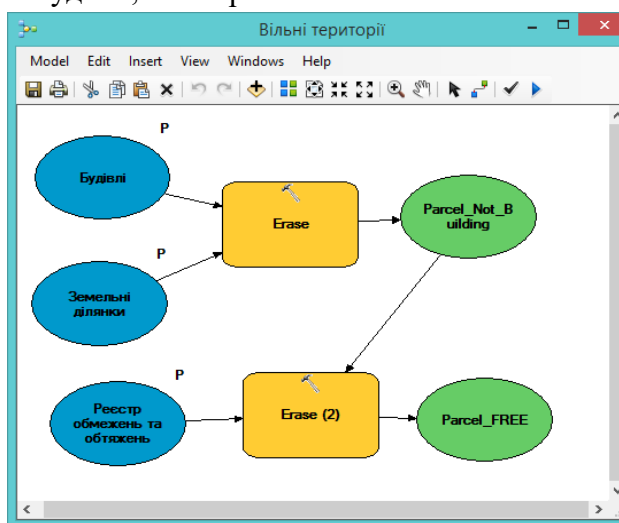


Рис.5. Визначення територій, вільних від забудови, та санітарно-захисних зон

Вибірку будівель, розміщених у санітарно-захисних зонах, виконано за допомогою операції «Select By Location» (Вибір за розміщенням). В розгляданому випадку вибрано об'єкти шару «Будівлі», які частково або повністю знаходяться в межах санітарно-захисних зон і зон обмеження забудови (рис. 6).



Рис.6. Результат вибірки будівель, які частково або повністю знаходяться в санітарно-захисних зонах або в зоні обмеження забудови

Висновки. Оскільки інтеграція України в Європейський Союз є питанням часу, а розроблення відповідного нормативно-технічного забезпечення – нагальним завданням для всіх галузей економіки нашої країни, то правове забезпечення для створення і підтримання в актуальному стані бази даних будівель і споруд також потребує негайних змін відповідно до міжнародних стандартів і специфікацій. Використання баз геопросторових даних і геоінформаційних систем, розроблених на основі серії міжнародних стандартів ISO 19100 «Географічна інформація/Геоматика», специфікацій INSPIRE та ELF дасть змогу інтегрувати потрібні дані та забезпечити їх інтероперабельність. Крім того, застосування ГІС дає можливість прийняття науково обґрунтованих, доказових проектних пропозицій, що спираються на комплексний геоінформаційний аналіз і моделювання сучасного стану та використання території населених пунктів, вулично-дорожньої та інженерних мереж.

Практична цінність розроблених геоінформаційних моделей бази геопросторових даних будівель і споруд полягає в забезпеченні інтегрування, уніфікації та інтероперабельності даних, отриманих з різних джерел; можливості застосування геоінформаційного аналізу та моделювання для забезпечення оперативного прийняття управлінських рішень на підставі їх результатів. Розроблена база геопросторових даних і технологічні моделі геоопрацювання впроваджено у виробничу експлуатацію в КО «КиївГенплан». Ці геоінформаційні БГД можна використовувати для інших населених пунктів.

Оскільки останнім часом швидко розвивається і впроваджується поєднання ГІС- та ВІМ-технологій для розв'язання прикладних завдань, то доцільним є створення 3D-моделей БГД будівель і споруд з метою забезпечення зв'язку польових і камеральних робіт через хмарні сервіси, що забезпечують мінімальну втрату інформації про об'єкти та максимально передають їх реалістичність. Створення 3D-моделей баз геопросторових моделей будівель та споруд зокрема і

базових геопросторових даних загалом в тривимірному просторі також не є питанням далекого майбутнього, а гострою і нагальною проблемою сьогодення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Айлікова Г. В. Структура та принципи побудови каталогу класів об'єктів профільних наборів геопросторових даних містобудівної документації / Г. В. Айлікова, В. В. Янчук, Д. В. Горковчук, Ю. В. Кравченко, О. І. Сингаївська // Містобудування та територіальне планування. — 2013. — Вип. 47. — С. 27-36.
2. Державний класифікатор будівель та споруд (ДК 018-2000). Затверджено і введено в дію наказом Держстандарту України від 17.08.2000 № 507.
3. ДСТУ ISO 19109:2017 (ISO 19109:2015, IDT): Географічна інформація. Правила для прикладної схеми. — Чинні від 2010-10-01.
4. ДСТУ ISO 19110:2017 (ISO 19110:2016, IDT): Географічна інформація. Методологія каталогізації об'єктів. — Чинні від 2010-10-01.
5. Карпінський Ю.О. Склад та принципи розроблення національного профілю стандартів з географічної інформації / Ю. О. Карпінський, А.А. Лященко, Ясуюкі Окада // Інженерна геодезія. — 2016. — Вип. 63. — С. 110-121.
6. Лазоренко-Гевель Н. Ю. Геоінформаційне забезпечення моніторингу природних комплексів / Н. Ю. Лазоренко-Гевель // Містобудування та територіальне планування. — 2012. — Вип. 44. — С. 291-299.
7. Проміжні результати пілотного проекту зі створення прототипу національної інфраструктури геопросторових даних. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://land.gov.ua/derzhheokadastr-prezentuvav-promizhni-rezultaty-pilotnoho-proektu-zi-stvorennia-prototypu-natsionalnoi-infrastruktury-heoprostorovykh-danykh>.
8. D2.8.III.2 INSPIRE Data Specification on Buildings — Technical Guidelines. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://inspire.ec.europa.eu/id/document/tg/bu>.
9. ELF Data Specification for topographic and administrative reference data at all levels of detail. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: http://elfproject.eu/sites/default/files/ELF_DataSpecification_v0.12_20160328.pdf.
10. Types of geodatabases — ArcGIS Help. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/geodatabases/types-of-geodatabases.htm>.
11. What is ModelBuilder? [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/analysis/geoprocessing/modelbuilder/what-is-modelbuilder-.htm>.

REFERENCES

1. Ailikova H. V., Yanchuk V. V., Horkovchuk D. V., Kravchenko Yu. V., Synhaivska O.I. (2013). Struktura ta pryntsyipy pobudovy katalohu klasiv obiektiv profilnykh naboriv heoprostorovykh danykh mistobudivnoi dokumentatsii [Structure and principles of constructing a catalog of classes of objects of profile sets of geospatial data of urban planning documentation]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia* — *Urban planning and territorial planning*, 47, 27-36 [in Ukrainian].

2. Derzhavnyi klasyfikator budivel ta sporud (DK 018-2000) [State Classifier of Buildings and Structures (DK 018-2000)]. Zatverdzheno i vvedeno v diiu nakazom Derzhstandartu Ukrainy vid 17.08.2000 № 507 [in Ukrainian].
3. Heohrafichna informatsiia. Pravyla dlia prykladnoi skhemy [Geographic information. Rules for the application scheme]. (2017). *DSTU ISO 19109:2017 (ISO 19109:2015, IDT) from 01st October 2017*. Kyiv: DP «UkrNDNTs» [in Ukrainian].
4. Heohrafichna informatsiia. Metodolohiia katalogizatsii ob'ektiv [Geographic information. The methodology of cataloging objects]. (2017). *DSTU ISO 19110:2017 (ISO 19110:2016, IDT) from 01st October 2017*. Kyiv: DP «UkrNDNTs» [in Ukrainian].
5. Karpinskyi Yu.O., Liashchenko A.A., Yasuiuki Okada (2016). Sklad ta pryntsyipy rozroblennia natsionalnoho profilu standartiv z heohrafichnoi informatsii [Composition and principles of development of the national profile of standards on geographic information]. *Inzhenerna heodeziia. — Engineering geodesy*, 63, 110-121 [in Ukrainian].
6. Lazorenko-Hevel N. Yu. (2012). Heoinformatsiine zabezpechennia monitorynhu pryrodnykh kompleksiv [Geoinformation support for the monitoring of natural complexes]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia — Urban planning and territorial planning*, 44, 291-299 [in Ukrainian].
7. Promizhni rezultaty pilotnoho proektu zi stvorennia prototypu natsionalnoi infrastruktury heoprostorovykh danykh [Interim results of a pilot project to create a prototype of the national geospatial data infrastructure] (n.d.). *land.gov.ua*. Retrieved from <http://land.gov.ua/derzhheokadastr-prezentuvav-promizhni-rezultaty-pilotnoho-proektu-zi-stvorennia-prototypu-natsionalnoi-infrastruktury-heoprostorovykh-danykh> [in Ukrainian].
8. D2.8.III.2 INSPIRE Data Specification on Buildings — Technical Guidelines. (n.d.). *inspire.ec.europa.eu*. Retrieved from <http://inspire.ec.europa.eu/id/document/tg/bu>.
9. ELF Data Specification for topographic and administrative reference data at all levels of detail. (n.d.). *elfproject.eu*. Retrieved from http://elfproject.eu/sites/default/files/ELF_DataSpecification_v0.12_20160328.pdf.
10. Types of geodatabases — ArcGIS Help. (n.d.). *desktop.arcgis.com*. Retrieved from <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/manage-data/geodatabases/types-of-geodatabases.htm>.
11. What is ModelBuilder? (n.d.). *pro.arcgis.com*. Retrieved from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/analysis/geoprocessing/modelbuilder/what-is-modelbuilder-.htm>.

Н. Ю. Лазоренко-Гевель, И.О. Галиус

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ БАЗЫ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ
ДАННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

В статье рассмотрен процесс создания геоинформационных моделей базы геопространственных данных (БГД) зданий и сооружений как составляющей единой цифровой топографической основы Украины, которая на данный момент

времени только проектируется. Проектирование было выполнено в соответствии с международными стандартами серии ДСТУ ISO 19100 «Географическая информация / Геоматика», спецификаций INSPIRE Data Specification on Buildings и ELF Data Specification.

Планируется, что запроектованная база геопространственных данных зданий и сооружений может быть использована в составе геоинформационной системы (ГИС) или как отдельная специализированная БГД, которую можно было бы гармонизировать с другими БГД и кадастрами, например, с градостроительным кадастром.

В статье приведены также результаты исследовательской реализации запроектованной БГД зданий и сооружений, разработаны технологические модели геообработки с целью наглядного отображения возможностей БГД и результаты их применения.

Ключевые слова: база геопространственных данных, здания и сооружения, цифровая топографическая основа.

N. Lazorenko-Hevel, I. Halius

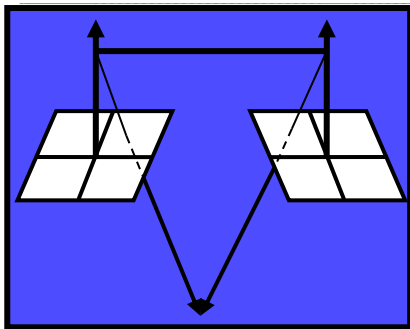
GEOINFORMATION MODELS OF THE GEOSPATIAL DATABASE BUILDINGS AND STRUCTURES

The article deals with the process of creation of geoinformation models of geospatial data base (GDB) of buildings and structures as a component of a unified digital topographic basis of Ukraine, which at present is absent and only being projected. The design was conducted in accordance with the international standards of the DSTU series ISO 19100 Geographic information / Geomatics, specifications: INSPIRE Data Specification on Buildings and ELF Data Specification.

It is planned that the projected geospatial data base of buildings and structures can be used as part of the Geographic Information System (GIS) or as a separate specialized BHD, which could be join with other GDBs and cadastres, for example, with a city-planning cadastre.

Also in the article the results of experimental realization of the designed GDB of buildings and constructions are presented, technological models of geoprocessing are developed in order to visualize the possibilities of GDB and the results of their application.

Key words: geospatial data base, buildings and structures, digital topographic basis.



ФОТОГРАММЕТРІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

УДК 528.92

Б.В. Четверіков, канд. техн. наук, ст. викл.,
К.Р. Онуфрак, магістр,
кафедра фотограмметрії та геоінформатики
Національний університет «Львівська політехніка»

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ НАСЛІДКІВ СТИХІЙНИХ ЛИХ ЗА РІЗНОЧАСОВИМИ ДАНИМИ ДЗЗ (НА ПРИКЛАДІ ШТАТІВ ТЕХАС І ФЛОРИДА)

У статті наведено одну з можливих технологій визначення руйнацій внаслідок стихійного лиха за даними дистанційного зондування Землі. За допомогою модуля DeltaCue Erdas Imagine порівняно космічні знімки, отримані з супутників GeoEye-1 та QuickBird на локальні території штатів Техас і Флорида до і після ураганів у 2017 році. Отримано різницеві показники та проаналізовано масштаби руйнувань, завданих стихійними лихами.

Ключові слова: супутниковий знімок, DeltaCue, різницеві показники, просторова фільтрація, оцінка наслідків урагану.

Вступ. Дослідження катаклізмів природного і техногенного характеру є надзвичайно актуальною проблемою, а застосування в таких роботах новітніх технічних засобів, методик і технологій повинно сприяти позитивному впливові на стан екосистеми в глобальному масштабі.

Ураган Харві, що стався 29 серпня 2017 року, – тропічний циклон, який через сильні опади спричинив катастрофічні паводки в південно-східній частині Техасу. Це був найсильніший ураган в Мексиканській затоці після урагану Катріна (2005 р.). Ураган Ірма — потужний атлантичний тропічний циклон 5-ї категорії, перший великий ураган, що сформувався в східній частині Атлантичного океану. Його швидкість — 290 км за годину. Хвилі, які здіймала Ірма, сягали 5-6 метрів у висоту, а площа стихійного лиха майже дорівнювала території Франції.

Застосування різночасових даних ДЗЗ дасть змогу оперативно оцінити руйнівні наслідки катаклізмів.

Аналіз досліджень і публікацій. У вирішенні проблеми моніторингу надзвичайних ситуацій перевагу віддають космічним методам збору інформації, що є цілком виправданим, коли йдеться про великі території та глобальні явища природного і техногенного характеру [1-6].

© Б.В. Четверіков, К.Р. Онуфрак, 2018

У багатьох країнах, які мають доступ до космічної техніки і технологій дистанційного зондування, на державному рівні узаконено застосування аерокосмічного моніторингу. Аналіз ряду наукових робіт дав змогу сформулювати висновок про те, що можливості дистанційних методів постійно зростають і розширюються. Ідеться, зокрема, про таке:

- застосування різноманітних сенсорів високої геометричної та радіометричної якості (багатоспектральних, гіперспектральних, оптичних, радіолокаційних, надвисокочастотних та ін.);
- координальне прискорення знімальних робіт на території з НС з кількох днів до кількох годин;
- швидкі інформаційні потоки, що забезпечують сучасні мережеві і геопортальні веб-технології;
- значно менша залежність знімальних процесів від освітленості, метеорологічних умов, що пов'язане насамперед з використанням випромінювання в радіодіапазоні.

Постановка завдання. Мета роботи – встановити масштаби руйнації досліджуваних територій внаслідок стихійного лиха за допомогою різночасових космічних знімків, отриманих із супутників GeoEye-1 та QuickBird.

Основна частина. Для визначення змін об'єктів в Erdas Imagine є додатковий модуль IMAGINE DeltaCue, який дає можливість виявляти відмінності між двома знімками однієї і тієї самої території, отриманими в різний час. Завдяки динамічному встановленню порогів змін, а також просторовій або спектральній фільтрації модуль дає можливість відобразити саме ті зміни, які нас цікавлять [7; 8].

Обробку й аналіз даних в IMAGINE DeltaCue організовано у вигляді проєктів, що передбачають певну послідовність дій:

- попередня обробка;
- виявлення змін;
- фільтрація виявлених змін;
- відображення й аналіз змін.

Формування різницевого зображення відбувається автоматично шляхом послідовного застосування формули до всіх відповідних пікселів попарно в кожному зі спектральних каналів:

$$d' = S_1 * DN_2 - S_2 * DN_1, \quad (1)$$

де DN_1 та DN_2 – значення пікселів у відповідних спектральних каналах знімків №1 та №2; S_1 та S_2 – середні арифметичні величини DN в кожному зі спектральних класів.

Для досягнення поставленої мети запропоновано одну з можливих технологічних схем дослідження (рис.1).

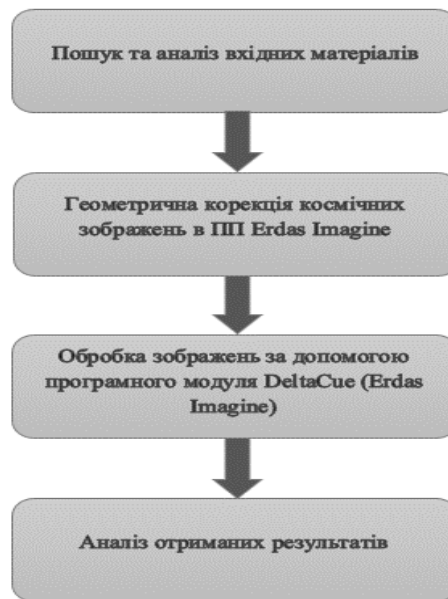


Рис.1. Технологічна схема визначення наслідків стихійного лиха за різночасовими даними ДЗЗ

Вхідними даними для дослідження є синтезовані знімки штату Техас, отримані до 2016 р. з супутника Geoeye-1 з просторовим розрізненням 0,4 м, та синтезовані знімки штату Флорида, отримані з супутника QuickBird з просторовим розрізненням 0,5 м до 2016 р. і після ураганів Харві та Ірма (2017 р.) [9-11] (рис. 2; 3).

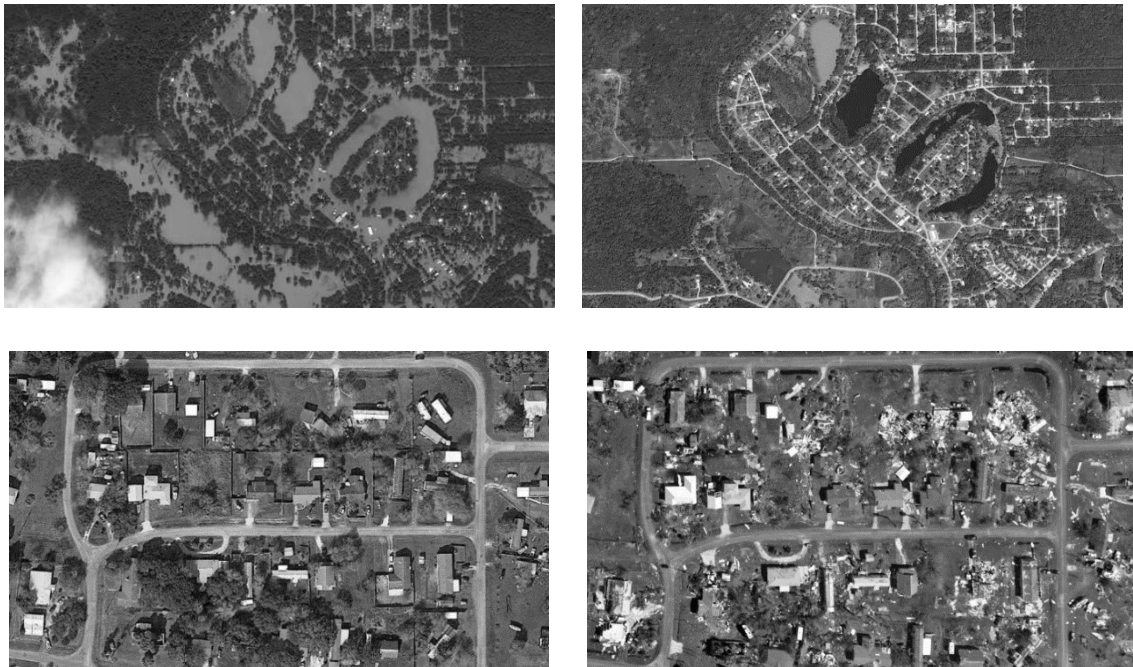


Рис. 2. Знімки штату Техас (2016 р.) та після урагану Харві (2017 р.)



Рис. 3. Знімки штату Флорида до (2016 рік) та після (2017 рік) урагану Ірма

Наступним кроком була обробка трансформованих зображень у програмному модулі DeltaCue, який дає змогу виявити відмінності між двома знімками однієї і тієї самої території, отриманими в різний час.

У діалоговому вікні вибору методу виявлення змін можна контролювати три типи фільтрів змін: спектральну сегментацію, неправильну реєстрацію пікселів пари зображень та просторову фільтрацію.

Для отримання об'єктивної інформації по змінах, виконано пошук із застосуванням просторового фільтра та без фільтра. Спочатку виконано пошук зміни пікселів залежно від їх спектрального класу та неправильної реєстрації пікселів пари зображень, але це не дало достатньо позитивного результату, оскільки в кінці залишилися фрагменти помилкових об'єктів (рис. 4).



Рис. 4. Вікна космічного зображення після урагану (ліворуч) та результату застосування модуля виявлення змін DeltaCue (праворуч)
(див. також с. 185)



Рис. 4.Закінчення

Далі виконано пошук за всіма трьома фільтрами (площа, компактність і подовження), додавши і просторовий фільтр. У результаті отримано об'єктивне зображення різницевих даних двох знімків (рис. 5).

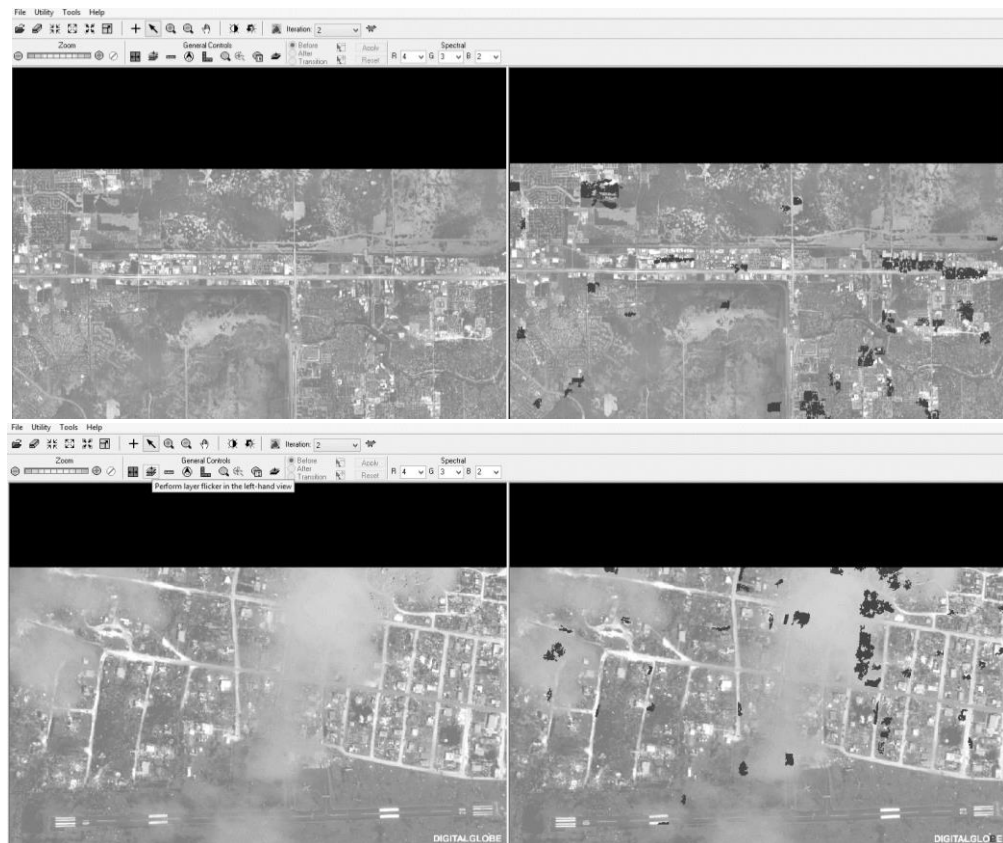


Рис. 5. Вікно результату обробки зображень у програмному модулі DeltaCue: космічне зображення дослідної території після землетрусу (ліворуч) та растрове зображення різницевих показників змін

Останнім кроком була векторизація файла-різниці в автоматичному режимі за допомогою функції запуску створення шейп-файла *Start DeltaCue Shapefile Output* для отримання загальної картини затоплених внаслідок урагану територій.

З отриманого шейп-файла визначенно загальну площу затоплених локальних територій (рис. 6).

FID	Shape	AREA	PERIMETER	ID
0	Polygon	0,027	1,312	1
1	Polygon	0,018	0,937	9
2	Polygon	0,029	1,146	17
3	Polygon	0,011	0,75	25
4	Polygon	0,068	2,312	33
5	Polygon	0,056	2,291	41
6	Polygon	0,012	0,729	49
7	Polygon	0,017	1,458	57
8	Polygon	0,026	1,25	65
9	Polygon	0,22	4,145	73
10	Polygon	0,012	0,958	81
11	Polygon	0,013	1,042	89
12	Polygon	0,075	2,208	97
13	Polygon	0,017	1,167	105
14	Polygon	0,014	0,646	113
15	Polygon	0,019	1,042	121
16	Polygon	0,017	1,104	129
17	Polygon	0,232	4,937	137
18	Polygon	0,019	1,167	145
19	Polygon	0,08	3,479	153
20	Polygon	0,014	0,833	161
21	Polygon	0,011	0,812	169
22	Polygon	0,015	0,771	177
23	Polygon	0,016	0,979	185
24	Polygon	0,011	0,667	193

FID	Shape *	AREA	PERIMETER	ID
0	Polygon	0,047	2,028	1
1	Polygon	0,494	9,05	9
2	Polygon	0,024	1,083	17
3	Polygon	0,041	1,694	25
4	Polygon	0,02	1,361	33
5	Polygon	0,182	4,027	41
6	Polygon	0,181	6,055	49
7	Polygon	0,046	2,25	57
8	Polygon	0,075	3	65
9	Polygon	0,031	1,416	73
10	Polygon	2,578	13,217	81
11	Polygon	0,023	0,917	89
12	Polygon	0,16	5,083	97
13	Polygon	0,046	2,333	105
14	Polygon	0,076	3,916	113
15	Polygon	0,022	1,416	121
16	Polygon	0,072	2,083	129
17	Polygon	0,02	1	137
18	Polygon	0,02	1,694	145
19	Polygon	0,023	0,944	153

Рис. 6. Атрибутивна таблиця з полем площі для кожного затопленого полігонального об'єкта, за яким визначено сумарну площу

Згідно з отриманими даними загальна площа затоплення локальних територій штату Техас становить 42%, штату Флорида – 37%.

Висновки. У роботі представлено підхід до виділення на космічних знімках елементів пошкоджених стихійним лихом територій. У дослідженні застосовано метод виявлення змін на різночасових космічних знімках з використанням трьох фільтрів: просторового, неправильної реєстрації пари пікселів та спектральної сегментації. Експерименти показали прийнятні результати виділення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення економічної безпеки:* Постанова Верховної Ради України від 03.03.1998. №188/98-ВР. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/188/98-вр>. – Назва з екрана.
2. *Положення про державну систему моніторингу довкілля:* Постанова Кабінету Міністрів України від 30.03.1998 р., №391.- 8 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/391-98-п> – Назва з екрана.
3. *Про порядок класифікації надзвичайних ситуацій:* Постанова Кабінету Міністрів України від 18.07.1998р. №1099. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1099-98-п> – Назва з екрана.
4. *ERDAS IMAGINE. Практическое руководство TourGuides.* – Leica Geosystems Geospatial Imaging, LLC, 2005. – 735 с.

5. Стародуб Ю. П. Інформаційні технології у комп'ютерному моделюванні еколого-геофізичних процесів: навч. посіб. / Ю.П.Стародуб, П.П.Урсуляк – Львів: ЛДУ БЖД. – 2013. – 160 с.
6. Світличний О. О. Основи геоінформатики/ О.О.Світличний, С.В.Плотницький – Суми: Університетська книга, 2006. – 295 с.
7. Лурье И.К. Теория и практика цифровой обработки изображений/ И.К.Лурье, А.Г.Косиков; под ред. А.М. Берлянта. – М.: Научный мир, 2003. – 168 с.
8. Кашкин В.Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: учеб. пособие / В.Б. Кашкин — М.: Логос, 2001. — 264 с.
9. Космические съемочные системы сверхвысокого разрешения [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.innoter.com>. – Название с домашней страницы Интернет.
10. Лацёнов Ю.М. Созвездие спутников DigitalGlobe: реалии и перспективы развития [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.pryroda.gov.ua> – Название с домашней страницы Интернет.
11. Бурштинська Х. Гібридна класифікація лісів за космічними знімками високого розрізнення / Х. Бурштинська, Б. Поліщук, О. Фіковська // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць Зах. геодезичного т-ва УТГК – Львів: ЛНУ «Львівська політехніка», 2014. – Вип. 1 (27). – С. 86–93.

REFERENCES

1. Osnovni napryamy derzhavnoyi polityky Ukrainy u haluzi okhorony dovkillya, vykorystannya pryrodnykh resursiv ta zabezpechennya ekonomichnoyi bezpeky [The main directions of the state policy of Ukraine in the field of environmental protection, use of natural resources and ensuring economic security]. *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/188/98-vr>. [in Ukrainian].
2. Polozhennya pro derzhavnu systemu monitorynhu dovkillya. Postanova Kabinetu ministriv Ukrainy vid 30.03.1998 r. [Regulations on the state system of environmental monitoring. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated March 30, 1998, No. 391.]. *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/391-98-n>. [in Ukrainian].
3. Pro poriadok klasyfikatsiyi nadzvychaynykh sytuatsiy. Postanova Kabinetu ministriv Ukrainy vid 18.07.1998r. #1099. [On the procedure for classification of emergencies. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 18.07.1998. No. 1099.]. *zakon.rada.gov.ua*. Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/1099-98-n>. [in Ukrainian].
4. IMAGE OF THE ERDAS (2005). Practical guide for TourGuides, LLC, 735 p.
5. Starodub Yu. P. (2013). *Informatsiyni tekhnolohiyi u komp'yuternomu modelyuvanni ekoloho-heofizychnykh protsesiv [Information technology in computer modeling ecological and geophysical processes.]*. Lviv: LDU BZhD [in Ukrainian].
6. Svitlychnyy O. O. (2010). *Osnovy heoinformatyky [Fundamentals of Geoinformatics]*. Sumy: VTD «Universytet-s'ka knyha» [in Russian].

7. Lur'e Y.K. (2003). *Teoriya y praktyka tsyfrovoy obrabotky yzobrazhenyy [Theory and practice of digital image processing]*. Moscow: Nauchnyi mir [in Russian].
8. Kashkyn V.B. (2001). *Dystantsyonnoe zondirovaniye Zemly yz kosmosa. Tsyfrovaya obrabotka yzobrazhenyy [Remote sensing of the Earth from space. Digital Image Processing.]*. Moscow: Logos [in Russian].
9. *Kosmicheskie semochnye sistemy sverhvyssokogo razresheniya [High-resolution space systems]*. Retrieved from <http://www.innoter.com>. [in Russian].
10. Lashhjonov Ju.M. *Sozvezdie sputnikov DigitalGlobe: realii i perspektivy razvitija [Constellation of DigitalGlobe satellites: realities and development prospects]*. Retrieved from <http://www.pryroda.gov.ua> [in Russian].
11. Burshtins'ka H. (2014). *Gibridna klasifikacija lisiv za kosmichnimi znimkami visokogo rozrznennja [Hybrid classification of forests behind cosmic shots of high distinction]. Suchasni dosjagnennja geodezichnoї nauki ta virobnictva – Modern achievements of geodesic science and industry. Vol. I(27), (p.86–93) [in Ukrainian]*.

Б.В. Четвериков, К.Р. Онуфрак

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ
ПО РАЗНОВРЕМЕННЫМ ДАННЫМ ДЗЗ (НА ПРИМЕРЕ ШТАТОВ
ТЕХАС И ФЛОРИДА)**

В статье приведена одна из возможных технологий определения разрушений в результате стихийных бедствий по данным дистанционного зондирования Земли. С помощью модуля DeltaCue Erdas Imagine сравнены космические снимки, полученные со спутников GeoEye-1 и QuickBird на локальные территории штатов Техас и Флорида до и после ураганов в 2017 году. Получены разностные показатели и проанализированы результаты разрушений, нанесенных стихийными бедствиями.

Ключевые слова: спутниковый снимок, DeltaCue, разностные показатели, пространственная фильтрация, оценка последствий урагана.

B. Chetverikov, K. Onufrak

**METHOD OF DETERMINATION OF CONSEQUENCES OF RELATED
RESULTS BY DIFFERENT TIME DATA (EXAMPLE OF TECHAS AND
FLORIDA STATES)**

The article presents one of the possible technologies for determining the destruction of natural disasters due to remote sensing of the Earth. With the DeltaCue Erdas Imagine module, comparative space images taken from GeoEye-1 and QuickBird satellites on local areas of Texas and Florida before and after the hurricanes that took place in 2017. The difference indicators were obtained and the results of disasters caused by natural disasters were analyzed.

To define changes in objects in Erdas Imagine, there is an additional IMAGINE DeltaCue module that allows you to distinguish between two images of the same territory received at different times. Due to the dynamic setting of thresholds for

changes, as well as spatial or spectral filtering, the module allows you to display only those changes that interest us.

Processing and analyzing data in IMAGINE DeltaCue are organized in the form of projects that provide a certain sequence of actions: preprocessing; detect changes; filtering detected changes; display and analysis of changes.

According to research data, the total surface area of flooding in Texas is 42% and Florida 37%.

Keywords: *Space Image, DeltaCue, Difference Indicators, Spatial Filtration, Hurricane Impact Assessment.*

Надійшла до редакції

01.02.2018

UDK 528.7:528.8

V. Seredovich, Professor,
*Director of the Siberian Centre for Laser Scanning in Civil Engineering
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin)*
I. Kamnev, PhD student
Siberian State University of Geosystems and Technologies (SSUGT)

ANALYSIS OF THE THREE-DIMENSIONAL VECTOR FAÇADE MODEL CREATED FROM PHOTOGRAMMETRIC DATA

The results of the accuracy assessment analysis for creation of a three-dimensional vector model of building façade are described. In the framework of the analysis, analytical comparison of three-dimensional vector façade models created by photogrammetric and terrestrial laser scanning data has been done. The three-dimensional model built from TLS point clouds was taken as the reference one. In the course of the experiment, the three-dimensional model to be analyzed was superimposed on the reference one, the coordinates were measured and deviations between the same model points were determined. The accuracy estimation of the three-dimensional model obtained by using non-metric digital camera images was carried out. Identified façade surface areas with the maximum deviations were revealed.

Key words: *terrestrial laser scanning, ground-based photogrammetry, accuracy estimation, non-metric digital cameras, three-dimensional model.*

Technology modernization of cameras has led to a significant increase in the image resolution. The improvement of the digital image quality and the increase in personal computer performance make possible to use images taken by non-metric digital cameras for measuring purposes. It should be mentioned that the application of these cameras increase the efficiency of field geodetic works while making photography/surveying building façades without complex decorative elements. [3, 2]

The results of accuracy assessment analysis for creation of a three-dimensional building façade vector model are described. In the framework of the analysis, an

analytical comparison of three-dimensional vector façade models created by photogrammetric and terrestrial laser scanning data was done.

To achieve this goal, we have made surveying of the main building of the Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering using terrestrial laser scanning (TLS) and ground-based photogrammetry.

Terrestrial laser scanning technology is widely used in geospatial solutions for construction, reconstruction of buildings and structures [4, 8-9]. It allows determining the three-dimensional coordinates of the object under investigation with an accuracy of 1.5 mm and worse [4-5].

At the first stage, terrestrial laser scanning was applied for surveying of building façade from the only one scanner station. The measurements were performed by Riegl VZ-400 laser scanner during the night, cloudy and calm weather. This has made it possible to minimize the influence of refraction and vibrations of the scanner. The maximum distance from the scanner to the building façade was 30 m.

At the second stage, ground-based photography of the façade was carried out by Sony DSC-H50 - a digital non-metric camera. It was done according to a preliminary designed work schedule, which included both route and block surveying. A special attention was paid to the necessary number of overlaps between the digital images, as well as to minimize the “dead zones”. To improve the quality result of surveying, all the works were carried out during day-time and in cloudy weather at a maximum distance of 33 m from the camera to the façade. Totally 84 digital images were taken covering an area of 809 m².

Digital camera specification is given in Tab. 1.

Table 1

Specification: Sony DSC-H50 digital non-metric camera

Parameter	Value
Resolution	3459x2592 pixels
Focus distance	5.2 mm
Aperture range	f/2,7 mm
ISO* sensitivity	80
Exposure	1/400 sec
*ISO - International Standardization Organization	

Camera calibration was made for the further determination of camera's elements of internal orientation elements in digital image processing.

For analysis purposes the conventional Cartesian coordinate system was adopted for a façade. In a given system, the X-axis is directed to the zenith (towards the roof), and the Y-axis to the east (along the building). Thus, the Z-axis is turned perpendicular to the façade, which was considered as a height. Therefore, the building façade seems to be laid on the earth surface. A digital façade model graduated in height and in a given coordinate system is shown in Fig. 1.

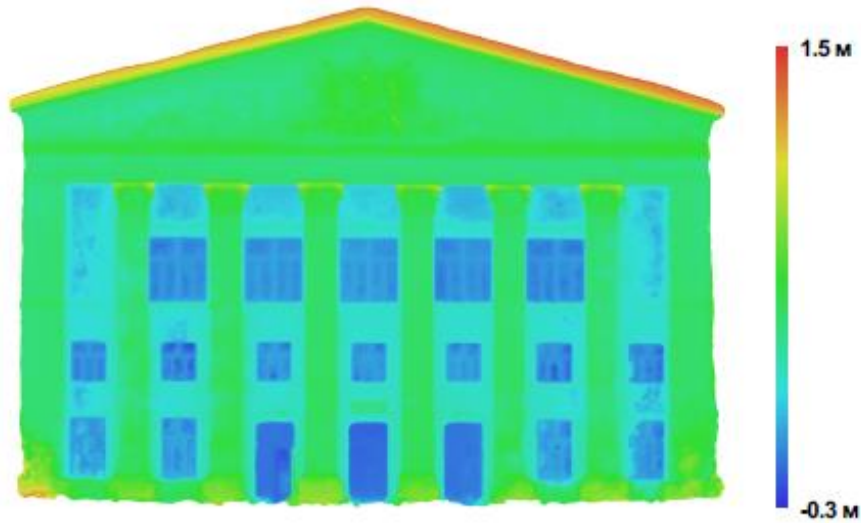


Figure 1: A digital façade model graduated in height

To define a conditional coordinate system, 21 control points are fixed on the façade. Their coordinates are measured by a point cloud of laser reflections (scans) and assigned to the corresponding points on digital images. Position errors of control points on images are given in Tab. 2.

Table 2

Position errors of control points on images

Point number	X (m)	Y (m)	Z (m)	S (m)	Projections
1	0.003	0.013	-0.005	0.014	26
2	0.013	0.014	-0.0001	0.030	19
3	0.009	0.007	-0.0002	0.019	27
4	-0.003	0.012	0.005	0.011	26
5	-0.008	-0.003	0.005	0.014	14
6	-0.004	-0.011	0.0002	0.010	20
7	0.013	-0.003	-0.001	0.012	32
8	0.007	-0.030	-0.006	0.013	26
9	-0.0004	-0.006	0.002	0.034	19
10	0.019	0.004	0.002	0.007	22
11	0.013	-0.001	0.002	0.019	19
12	0.008	0.010	-0.003	0.013	22
13	0.009	0.007	0.003	0.008	20
14	-0.022	-0.005	0.006	0.013	19
15	-0.018	0.024	-0.002	0.012	17
16	-0.005	0.006	0.001	0.023	24
17	0.001	-0.018	-0.003	0.018	19
18	-0.011	-0.007	0.007	0.015	23
19	-0.014	-0.0002	-0.004	0.014	17
20	-0.006	-0.004	-0.002	0.008	21
21	0.0003	-0.007	-0.006	0.009	20
RMS error (m)	0.011	0.012	0.004	0.016	

According to Tab. 2, it can be seen that the root-mean-square error (RMS error) of the position of control points on Z-axis is less than half a millimeter. The projection parameter characterizes the number of images on which a particular point is displayed. The error 'S' in Tab. 2 means the RMS error of determining the spatial position of the corresponding control point.

Processing of non-metric digital camera images was carried out in the office by Agisoft PhotoScan software. As a result, a three-dimensional façade models (point and vector models) were created from point clouds and images (Fig. 2, 3).

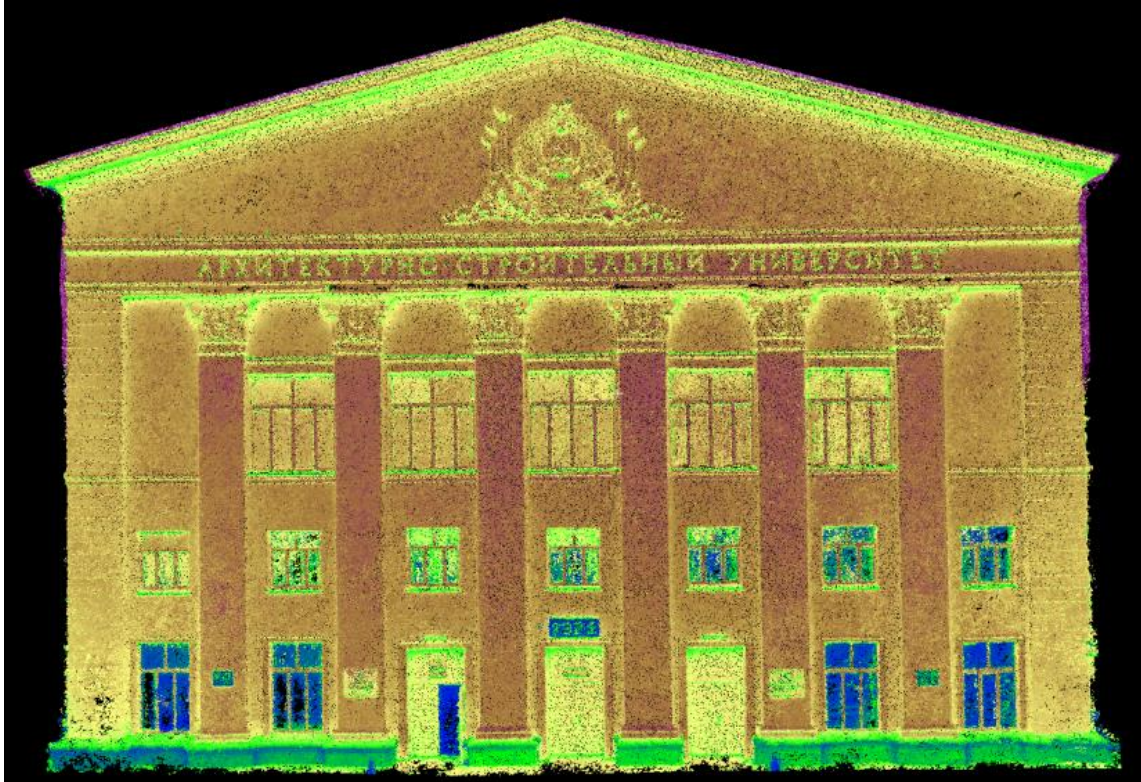


Fig. 2. The three-dimensional façade model from point clouds



Fig. 3. The three-dimensional façade model from images

As can be seen from Fig. 3, while creating a vector model from a point cloud, its edges and oblique angles are smoothed out (blurred), for example, the corners of window embrasures and the edges of columns.

The vector model was also created using TLS data (Fig. 4) and Leica Cyclone software (Fig. 5).



Fig. 4. The three-dimensional façade model from TLS point clouds



Fig. 5. The three-dimensional façade model from images

Three-dimensional façade models from TLS point clouds shown in Fig. 2 and 4 are represented in accordance with the intensity of reflected signal.

At the next stage of data processing, the vector model from images was projected onto the TIN model created by a point cloud of laser reflections (scans) (Fig. 6), after which analytical comparison of data obtained was carried out.

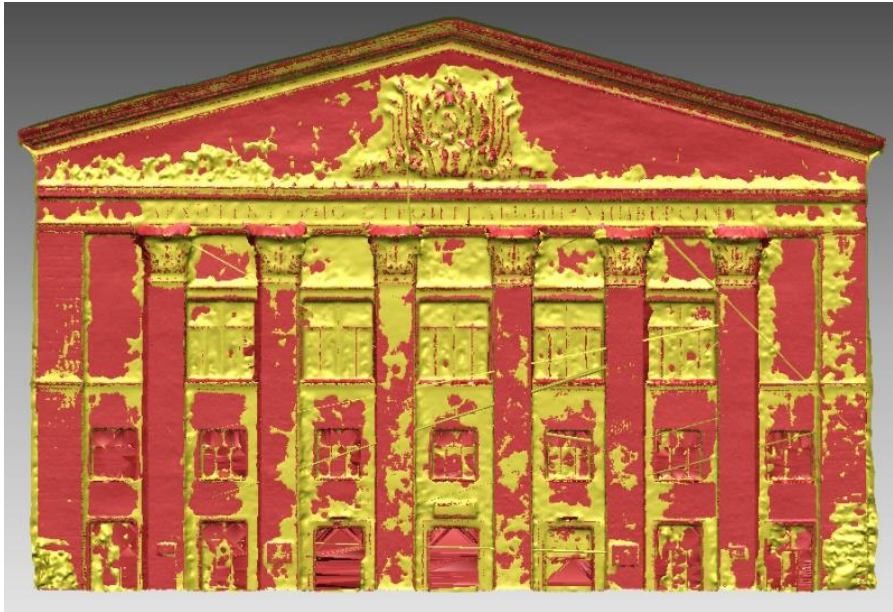


Fig. 6. Fusing three-dimensional vector façade models

The three-dimensional vector model created by TLS data is shown in Fig. 6 by red colour, whereas that of created from images taken using a non-metric digital camera by yellow.

It can be seen from Fig. 6 that the greatest discrepancies between the two surfaces are in the lower model corners. This could be happened due to a lack of forward overlap between images on the object edges (in this case it was 58%), and because of a sharp turn of the wall (building edge). Significant discrepancies are also located near capitals and other relief faces, as well as in places of bending between columns, window embrasures and walls. In the upper part of the façade, deviations were appeared because of the large angle of surface inclination relative to the objective.

Comparative analysis of the two models was performed manually and automatically.

The manual method consisted in uniform distribution of 101 control points across the entire building façade surface, the coordinates of which were specified theoretically (Fig. 7).



Fig. 7. Point distribution across the façade

The Z-coordinates for all the control points on each model were determined, and the discrepancies between them were recorded. The data obtained are presented in Tab. 3.

Table 3

Discrepancies of digital models

Smooth surface								Relief surface							
N ₀	A, (m)	B, (m)	x _i , (m)	N ₀	A, (m)	B, (m)	x _i , (m)	N ₀	A,(m)	B, (m)	x _i , (m)	N ₀	A, (m)	B, (m)	x _i , (m)
1	0.448	0.440	-0.008	30	0.187	0.187	0.000	1	0.476	0.476	0.000	23	0.426	0.425	-0.001
2	0.442	0.440	-0.002	31	0.150	0.151	0.001	2	0.465	0.446	-0.019	24	0.223	0.217	-0.006
3	0.433	0.429	-0.004	32	0.204	0.204	0.000	3	0.537	0.536	-0.001	25	0.172	0.162	-0.010
4	0.363	0.359	-0.004	33	0.356	0.365	0.009	4	0.217	0.215	-0.002	26	0.243	0.240	-0.003
5	0.167	0.156	-0.011	34	0.481	0.481	0.000	5	0.466	0.459	-0.007	27	0.205	0.183	-0.022
6	0.176	0.164	-0.012	35	0.478	0.477	-0.001	6	0.778	0.773	-0.005	28	0.229	0.230	0.001
7	0.173	0.162	-0.011	36	0.461	0.456	-0.005	7	0.547	0.543	-0.004	29	0.521	0.521	0.000
8	0.540	0.541	0.001	37	0.456	0.454	-0.002	8	0.226	0.226	0.000	30	0.473	0.462	-0.011
9	0.573	0.572	-0.001	38	0.480	0.473	-0.007	9	0.501	0.478	-0.023	31	0.345	0.344	-0.001
10	0.476	0.455	-0.021	39	0.452	0.452	0.000	10	0.843	0.810	-0.033	32	0.434	0.410	-0.024
11	0.465	0.465	0.000	40	0.453	0.453	0.000	11	0.554	0.554	0.000	33	0.573	0.572	-0.001
12	0.448	0.440	-0.008	41	0.003	-0.002	-0.005	12	0.245	0.242	-0.003	34	0.437	0.405	-0.032
13	0.436	0.433	-0.003	42	0.232	0.225	-0.007	13	0.579	0.578	-0.001	35	0.251	0.250	-0.001
14	0.363	0.361	-0.002	43	0.521	0.521	0.000	14	0.420	0.420	0.000	36	0.172	0.163	-0.009
15	0.563	0.562	-0.001	44	0.463	0.463	0.000	15	0.601	0.592	-0.009	37	-0.005	-0.016	-0.011
16	0.201	0.202	0.001	45	0.452	0.448	-0.004	16	0.544	0.526	-0.018	38	0.222	0.199	-0.023

Table 3

17	0.549	0.552	0.003	46	0.172	0.163	-0.009	17	0.405	0.405	0.000	39	0.273	0.272	-0.001
18	0.495	0.499	0.004	47	0.208	0.208	0.000	18	0.234	0.234	0.000	40	0.441	0.419	-0.022
19	0.474	0.481	0.007	48	0.224	0.224	0.000	19	0.211	0.211	0.000	41	0.214	0.178	-0.036
20	0.462	0.454	-0.008	49	0.206	0.204	-0.002	20	0.190	0.198	0.008	42	0.216	0.206	-0.010
21	0.447	0.441	-0.006	50	0.204	0.204	0.000	21	0.803	0.802	-0.001	43	0.426	0.420	-0.006
22	0.408	0.411	0.003	51	0.509	0.510	0.001	22	0.558	0.558	0.000	44	0.584	0.569	-0.015
23	0.184	0.183	-0.001	52	0.473	0.464	-0.009								
24	0.009	0.009	0.000	53	0.446	0.430	-0.016								
25	0.195	0.191	-0.004	54	0.447	0.447	0.000								
26	0.206	0.206	0.000	55	0.167	0.158	-0.009								
27	0.472	0.472	0.000	56	0.228	0.221	-0.007								
28	0.447	0.447	0.000	57	0.208	0.200	-0.008								
29	0.416	0.423	0.007												

A – the value at a control point on the three-dimensional façade model created from TLS point clouds accepted as

a true value;

B – the value at a control point on the three-dimensional façade vector model created from images;

x_i – the difference between the true value and the measured value

It can be seen from Tab. 3 that out of 101 measured discrepancies, only three exceed 3 cm. The all three points are located on the relief areas of façade surface, painted with white. The maximum discrepancy between two vector models was 3.6 cm.

Standard formulas used for mathematical processing of geodetic measurements [7] were applied to determine the accuracy of three-dimensional model creation from images taken by a non-metric digital camera.

The average value is calculated by the following formula:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (1)$$

where $\bar{X}$ is the average value; x_i is the difference between the true value and the measured value; n is the number of measurements.

The mean absolute deviation is calculated by the formula:

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{X}|}{n}, \quad (2)$$

where MAD is the mean absolute deviation;

The standard error is calculated by the Gauss formula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}, \quad (3)$$

where σ is the standard error (RMS error).

The results of mathematical calculations are presented in Tab. 4.

Accuracy estimation

Type of surface	Average value (m)	Mean absolute deviation (m)	Standard error (m)
Smooth	-0.003	0.004	0.006
Relief	-0.008	0.009	0.013

Based on the calculations performed, it can be concluded that the measurements include a systematic error, since the modulus of the average value is close to the mean absolute deviation. That is why we have carried out an automated analysis.

Automated model analysis was performed by Rapidform software. For this purpose, maps of the mean square deviations as well as absolute ones (Fig. 8-9) between the models distributed across the entire façade surface were drawn.

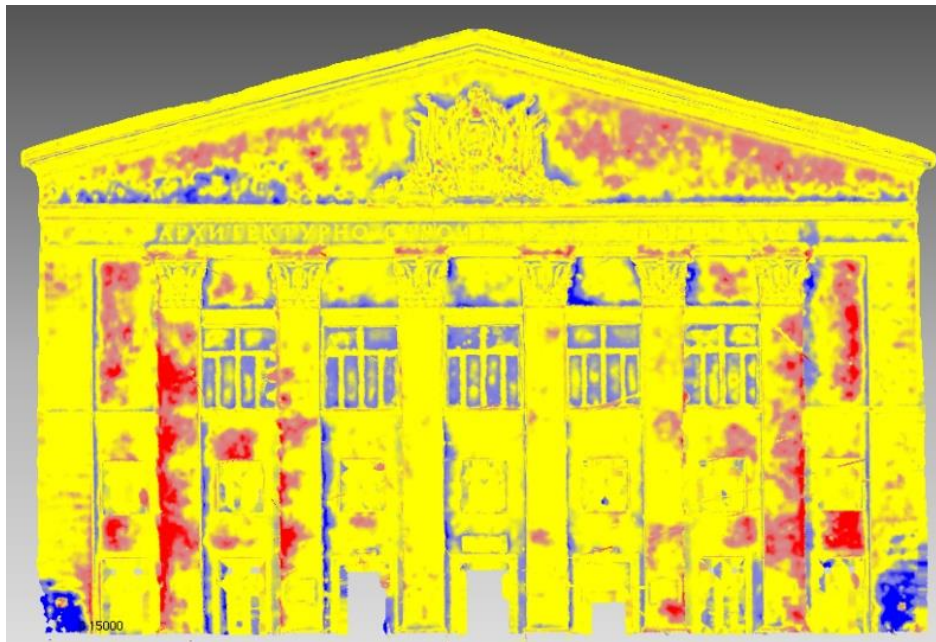


Fig. 8. Map of the mean square deviations between three-dimensional vector models

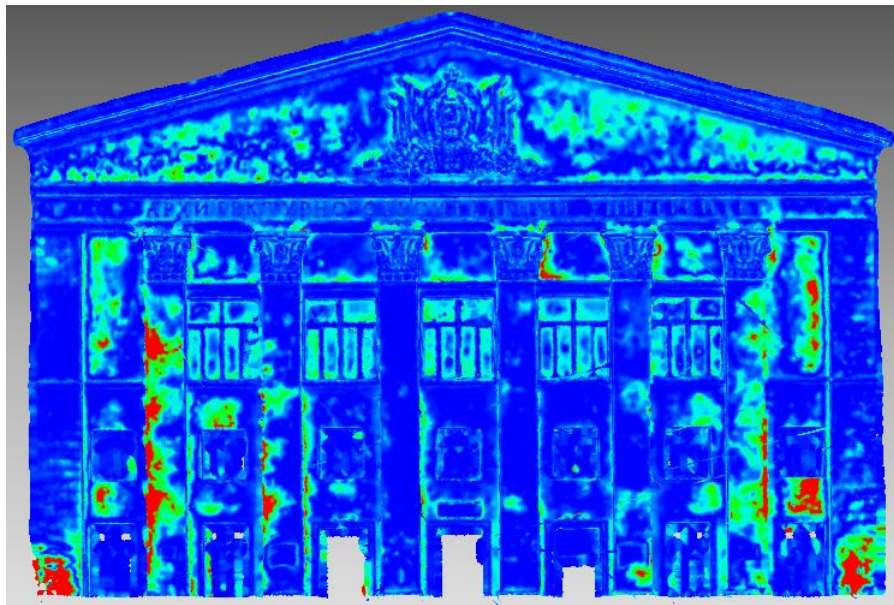


Fig. 9. Map of the absolute deviations between three-dimensional vector models

The diagram of the Gauss-Laplace distribution is shown in Fig. 10 and the map color graduation of absolute deviations between three-dimensional vector models is shown in Fig. 8.

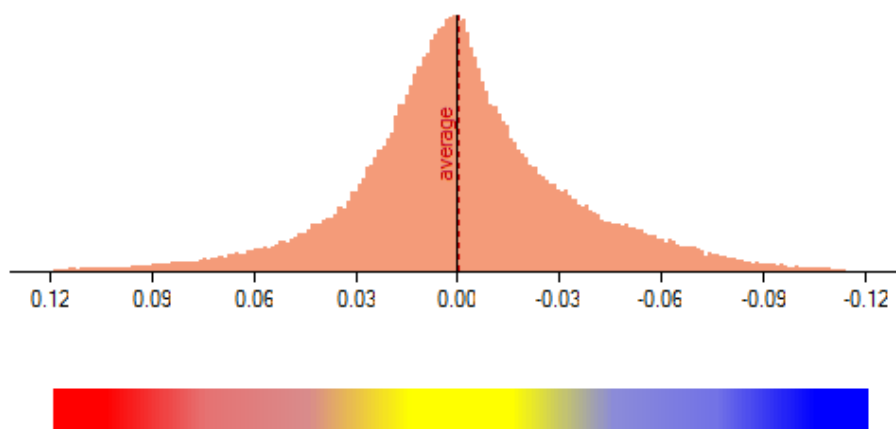


Fig. 10. A diagram of the Gauss-Laplace distribution

Fig. 11 shows the diagram of absolute deviations between vector models and the map color graduation of absolute deviations displayed in Fig. 9.

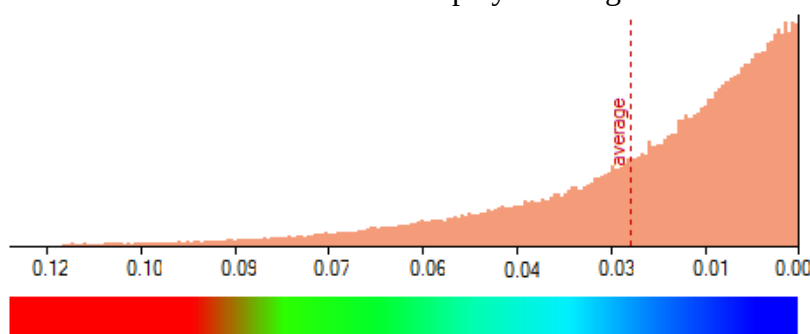


Fig. 11. A diagram of the absolute deviations

The values on both diagrams are in meter.

It is evident from Fig. 9 that the deviations between vector models created have a maximum at places of surface bends because of corner smoothing.

The following data obtained from the automated analysis are presented in Tab. 5.

Table 5

Accuracy estimation

Average value (m)	Mean absolute deviation (m)	Standard error (m)
-0.0002	0.027	0.040

It is necessary to take into account the fact that the accuracy of three-dimensional vector model creation from images taken by a non-metric camera was calculated regarding to its comparison with that of from TLS data. In this case, the actual accuracy of photogrammetric data according to our expert analysis is as high as 10 - 15% because the scanning error is not equal to 0.

Conclusions. The results of analysis allows for the following conclusions.

The accuracy of the three-dimensional façade model from images taken by a non-metric camera as a whole is comparable with respect to that of the model created from TLS data. However, there are discrepancies caused by smoothing and “blurring” the object edges and sharp corners. The discrepancies also appear in case of ground-based oblique photography of objects. To eliminate these discrepancies, it is preferable to use an unmanned aerial vehicle (UAV) with a fixed camera for right angle photography. It should be mentioned that the use of non-metric digital cameras are preferable for surveying/photography of building façades which have not complex decorative elements.

The following recommendations were developed for surveying/photography of building façades and post-processing of images:

- Photography should be carried out with a minimum angle (forward-backward);
- The frame should be with the minimum turn;
- Forward and lateral overlap should be provided according to the requirements stated in the technological documentation of Agisoft PhotoScan software;
- Photography is preferable in cloudy weather;
- It is recommended to use a tripod providing stability for the camera.

The advantages of using non-metric digital cameras in comparison with TLS are as follows:

- Low-cost equipment;
- Light-weight camera for photography without a tripod.

The disadvantages of photography using a digital camera are:

- Longer processing time;
- The lower precision of three-dimensional models.

REFERENCES

1. Mikhailov A.P. & Chibunichev A.G. (2016). *Fotogrammetriya [Photogrammetry]*. Moscow: MIIGAiK [in Russian].
2. Germanak O. V., Kalacheva N. A., Gugueva O.A. (2013). Vozmozhnosti nemetrycheskykh tsyfrovyykh kamer v nazemnoi fotogrammetrii [Possibilities of non-metric digital cameras in ground-based photogrammetry]. *Ynzhenernyi vestnyk DONA – Engineering Journal of Don*, 4(27), 205-210. Retrieved from <https://elibrary.ru/item.asp?id=21452308> [in Russian].
3. Jarroush D. (2014). Tsyfrovaia kamera kak prakticheskyi heodezycheskyi ynstrument: problemy y resheniya [Digital camera as a surveying instrument for the needs of practice: problems and solutions]. *SAPR y HYS avtomobylnykh doroh – CAD and GIS of Highways*, 12, 52-56. Retrieved from [http://www.cadgis.ru/2014/2/CADGIS-2014-1\(2\)-11.Jarroush\(Digital-camera-for-survey\).pdf](http://www.cadgis.ru/2014/2/CADGIS-2014-1(2)-11.Jarroush(Digital-camera-for-survey).pdf) [in Russian].
4. Ivanov A.V. (2012). Razrabotka metody heodezycheskoho kontrolya inzhenernykh ob'ektov na osnove dannykh nazemnoho lazernoho skanyrovaniya

[Development of methods for geodetic control of engineering facilities based on ground-based laser scanning data]. *Candidate's thesis*. Novosibirsk: SSGA. Retrieved from <http://www.dissercat.com/content/razrabotka-metodiki-geodezicheskogo-kontrolya-inzhenernykh-obektov-na-osnove-dannykh-nazemno> [in Russian].

5. Kamnev I.S. & Seredovich V.A. (2016). Yssledovanye tochnosti sovremennykh metodov yzmereniya [Accuracy analysis of advanced measuring techniques] *Materyaly KhII Mezhdunar. nauch. konhr. "Ynterekspo HEO-Sybyr-2016", 20-22 Aprelia – Proceeding of the International scientific congress "Interexpo GEO-Siberia-2016", 20-22 April, 2016*, (Vols. 2, 2), (pp. 136-141) Novosibirsk: SSGA. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-tochnosti-sovremennyh-metodov-izmereniya> [in Russian].

6. Seredovich V.A., Komissarov A.V., Komissarov D.V., Shirokova T.A. (2009). *Nazemnoe lazernoe skanyrovanye. Monografyia [Terrestrial laser scanning. Monograph]*. Novosibirsk: SSGA. Retrieved from <https://studfiles.net/preview/3399504/> [in Russian].

7. Rusyaeva E.A. (2016). *Teoriya matematycheskoi obrabotky heodezycheskykh yzmereniy [The theory of mathematical processing of geodetic measurements. Part 1. Theory of measurement errors]*. Moscow: MIIGAiK. Retrieved from <http://www.miigaik.ru/library/tutorials/20160226150253-2253.pdf> [in Russian].

8. Pu S. & Vosselman, G. (2009). Knowledge-based reconstruction of building models from terrestrial laser scanning data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64 (6), 575-584. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924271609000501>.

9. Tsakiri M., Lichti D., Pfeifer N. (2006). Terrestrial Laser Scanning for Deformation Monitoring *Proceeding of 3rd IAG /12th FIG Symposium, Baden, 22-24 May, 2006*, 22–24. Retrieved from http://www.fig.net/resources/proceedings/2006/baden_2006_comm6/PDF/LS2/Tsakiri.pdf.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Михайлов А.П. Фотограмметрия [Текст]/ А.П. Михайлов, А.Г. Чибуничев. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2016. – 292 с.

2. Гермак О.В. Возможности неметрических цифровых камер в наземной фотограмметрии [Текст]/ О.В. Гермак, Н.А. Калачева, О.А. Гугуева // Инженерный вестник ДОНА. – 2013. – № 4 (27). – С. 205-210.

3. Джарроуш Д. Цифровая камера как практический геодезический инструмент: проблемы и решения [Текст]/ Д. Джарроуш // САПР и ГИС автомобильных дорог. – 2014. – №1(2). – С. 52-56.

4. Иванов А.В. Разработка методики геодезического контроля инженерных объектов на основе данных наземного лазерного сканирования [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.32/ А.В. Иванов. – Новосибирск, 2012. – 150 с.

5. Камнев И.С. Исследование точности современных методов измерения [Текст]/ И.С. Камнев, В.А. Середович // Материалы XII Междунар. науч. конгр. «Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016», 20-22 Апреля, 2016. – Новосибирск, 2016. – 135-140 с.

6. Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.

7. Русяева Е.А. Теория математической обработки геодезических измерений: учеб. пособие. Часть I. Теория ошибок измерений [Текст]/ Е.А. Русяева. – М.: Изд-во МИИГАиК, 2016. – 56 с.

8. Pu S., Vosselman, G. Knowledge-based reconstruction of building models from terrestrial laser scanning data [Text] / S. Pu, G. Vosselman // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2009. – Vol. 64, № 6. – P. 575 – 584.

9. Tsakiri M. Terrestrial Laser Scanning for Deformation Monitoring [Text]: / M. Tsakiri, D. Lichti, N. Pfeifer // Proc. of 3rd IAG /12th FIG Symposium, Baden, 22-24 May, 2006. - P. 22–24.

В. Середович, И. Камнев

АНАЛИЗ ТРЕХМЕРНОЙ ВЕКТОРНОЙ МОДЕЛИ ФАСАДА, СОЗДАННОЙ ПО ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИМ ДАННЫМ

В представленной работе приведены результаты анализа точности трехмерной векторной модели фасада здания, полученной по материалам фотограмметрической съёмки. Проведенный анализ базировался на аналитическом сравнении трехмерных векторных моделей фасада здания, созданных по материалам фотограмметрической съёмки цифровой неметрической камерой и наземного лазерного сканирования. Фотограмметрическая модель фасада была создана в автоматическом режиме. Для выполнения анализа трехмерная модель, которая была создана по данным наземного лазерного сканирования, была принята за исходную, то есть такую, для которой погрешностями координат точек можно пренебречь. Во время исследования фотограмметрическая модель была наложена на исходную модель, после чего были измерены отклонения между характерными точками на фасаде здания. Были выполнены оценки точности фотограмметрической модели, созданной цифровой неметрической камерой. Проведенный анализ позволил также установить места и характерные участки фасада, которые моделируются хуже на фотограмметрической модели при использовании автоматического метода создания трехмерной модели. Выявленные недостатки фотограмметрической модели вызваны преимущественно значительными углами наклона фотоснимков и возникновением вследствие этого «мертвых зон». Для преодоления этой проблемы рекомендуется дополнять материалы наземной фотограмметрической съёмки материалами фотосъёмки с беспилотных летательных аппаратов.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, наземная фотограмметрия, оценка точности, неметрические цифровые камеры, трехмерная модель.

В. Середович, І. Камнев

**АНАЛІЗ ТРИВИМІРНОЇ ВЕКТОРНОЇ МОДЕЛІ ФАСАДУ,
СТВОРЕНОЇ ЗА ФОТОГРАММЕТРИЧНИМИ ДАННИМИ**

У представленій роботі наведено результати аналізу точності тривимірної векторної моделі фасаду будівлі, отриманої за матеріалами фотограмметричного знімання. Проведений аналіз базувався на аналітичному порівнянні тривимірних векторних моделей фасаду будівлі, створених за матеріалами фотограмметричного знімання цифровою неметричною камерою та наземного лазерного сканування. Фотограмметричну модель фасаду створено в автоматичному режимі. Для виконання аналізу тривимірна модель, створена за даними наземного лазерного сканування, була прийнята за вихідну, тобто таку, для якої похибками координат точок можна знехтувати. Під час дослідження фотограмметричну модель накладено на вихідну модель, після чого було виміряне відхилення між характерними точками на фасаді будівлі. Виконано оцінювання точності фотограмметричної моделі, створеної цифровою неметричною камерою. Проведений аналіз дав змогу встановити також місця і характерні ділянки фасаду, які моделюються найгірше на фотограмметричній моделі під час використання автоматичного методу створення тривимірної моделі. Виявлені недоліки фотограмметричної моделі викликані переважно значними кутами нахилу фотознімків і виникненням внаслідок цього «мертвих зон». Для подолання цієї проблеми рекомендується доповнювати матеріали наземного фотограмметричного знімання матеріалами фотознімання з безпілотних літальних апаратів.

Ключові слова: наземне лазерне сканування, наземна фотограмметрія, оцінка точності, неметричні цифрові камери, тривимірна модель.

Надійшла до редакції

13.02.2018

UDC 517

K. Vach, PhD,

EuroGV s.r.o. – geodetic and photogrammetric surveys

**APPLICATION OF 3D TECHNOLOGY FOR MODELLING
OF ARCHITECTURAL MONUMENTS IN THE CZECH REPUBLIC**

The paper is devoted to consideration the questions of 3D technology application for modelling of architectural monuments in the Czech Republic. 3D in case of conservation of historical and cultural monuments means the processing of measured data with the required contents in the local system of coordinates and in a chosen scale. According the results obtained it is necessary to determine the requirements for measuring accuracy. The main goal of our research is early detection of errors in 3D images of actual building behavior and their exception, as well as introduction of new

technologies into existing processes and implementation of new technologies into GIS. The methodology for documenting the actual object behavior in 3D is defined and outlined in the paper. As an example of a system for documentation and monitoring of cultural heritage objects, the paper considers a database created in the Czech Republic.

Key words: *accuracy, details in documenting the architectural monuments, methodology, actual object behavior in 3D, photogrammetric survey.*

INTRODUCTION. Beginning from our activity in 1992 and till nowadays we are engaged in the development of technologies for documenting the actual behavior of buildings using geodetic and photogrammetric techniques both indoors and outdoors. The main goal of our research is early detection of errors in 3D images of actual building behavior and their exception, as well as introduction of new technologies into existing processes and implementation of new technologies into gis. This will allow those who use buildings to provide their integrity.

Based on our long-term experience we have revealed that 3D images of building surfaces obtained as a result of photogrammetric measurements make easier to control the indoor-and-outdoor geodetic measurements, to increase the accuracy, and to allow efficient computer drawing of facades, horizontal and vertical sections through buildings, and 3D objects drawing [2; 3]. All measurements are performed at a scale of 1: 100-1: 50.

When measuring complex interiors, such as churches, a spatial photogrammetric base, that is a 3D digital model created by photogrammetric data, was the best for accurate documenting the actual behaviour of buildings, including details, at scales 1: 5, 1: 10.

3D survey point coordinates in a single unified object coordinate system measured photogrammetrically are used for precise evaluation and outlining composite details of construction, interiors, integration of correlation photogrammetric systems (Semi-Global Matching) or laser scanning data. The importance of using these technologies is most clearly illustrated by examples of complex attics, rafters, arches, historic walls and bridges, etc.

The requirements of the departments for conservation of historical and cultural heritage. The main and legal requirement of these departments is the availability of documented data that correspond to the reality. What concerns ‘accuracy’ they mean a description, reliability and detailed digital documentation. Based on the required image details, subsequent requests are made for the measuring accuracy. As there are no standards for the accuracy, they are not mentioned in laws, and even in regulations. Such situation causes major obstacles to use the corporate technologies.

Why our monument conservation documentation are needed for professionals (architects and restorers)?

- To provide initial data for building inventory and management;
- To provides a basis for design works and subsequent executive reconstruction of objects;
- For restoration works (building behaviour before and after reconstruction);

- To determine the precise areas of facades, interiors laying according to plaster types and complete inventory of facades and interiors, including details of windows, the throne, painting, statues, arches, etc. at scale 1: 10;
- To offer the color changes of facades and interiors;
- For urban purposes: documentating street blocks, urban complexes (agglomeration) using geodetic observations and laser scanning data, terrestrial and UAV imagery data, aerial and panoramic aerial photographs, as well as for combining measuring data with cadastral and historical maps, drawing the design changes in 3D or phototgraphs;
- For a wide variety of computer presentations and visualizations;
- Special problem solving related to the reconstruction of historic structure sizes and forms or their details and historical objects according to existing photographs or restoration works;
- 3D virtual reality.

What information products are required for architects, restorers, and designers?

- Digital and paper drawings (horisontal plans, sections, and facade drawings) supplemented with photo catalogs on the actual behaviour of buildings and photogrammetric data (photographic plans, airphoto mosaics, orthophoto plans, and orthophoto maps);
- 3D DEM, planimetry related to the cadastre;
- 3D models based on surveys or created using point clouds or combined 3D models;
- Simple digital panoramic aerial photographs or 3D panoramic models;
- Information databases of measured objects and their integration into information systems.

When we talk about using 3D for the conservation of historical and cultural monuments, we mean *measured data processing with the required content in a local coordinate system, in a chosen scale, on the basis of which it is necessary to define requirements for the measuring accuracy*. The final measurements are referred to the required or reference coordinate system S-JTSK, Bpv, or WGS 84.

CONSERVATION OF HISTORICAL AND CULTURAL HERITAGE

The concept “conservation of monuments” and the whole process of its organization are regulated in the “National Historical and Cultural Heritage Conservation Act”.

The following government agencies are responsible for the national conservation of historical and cultural heritage (monuments):

- Ministry of Culture of the Czech Republic.
- 13 provincial authorities.
- 205 municipalities with broader powers.
- National Heritage Institute (Národní Památkový Ústav - NPÚ):
- NPÚ is a professional research organization (NPÚ) for the national conservation of historical and cultural heritage, which exists throughout the Czech Republic.

➤ NPÚ is responsible for maintaining the central register of cultural heritage sites that considered as the ancient monuments of the Czech Republic (hereinafter referred to as the “Central Register”).

The cultural monuments, national cultural heritage, repository of culture, sites of culture, protective zones of immovable national cultural heritage, immovable national cultural sites are registered in the Central Register. When the data are entered into the central register, the NPU passes this information to the relevant cadastral agency and they are fixed in the Cadastral Register according to cadastral law.

Here is on Fig. 1 a link to the Central Registry's web-site: <http://monumnet.npu.cz/monumnet.php> [1].

The screenshot shows the MonumNet web application. At the top, there is a header with the MonumNet logo, navigation links like 'Světové dědictví, NKP, chráněná území', and search options. Below the header, a table lists cultural heritage sites. The first entry is for 'Pražský hrad' (Prague Castle) with ID 84031. Below this, a detailed view of the site is shown, including its type (NP: Národní kulturní památka), name (Pražský hrad), location (Praha hl.m.), and a detailed description of the site's characteristics and the decision to protect it. At the bottom, there is a table of related records, including a record for the 'Pražský hrad' with ID 151651.

Č.rejst.	Kód	Typ chráněného území	Okres	Název	Od roku	Id
101	NP	Národní kulturní památka	Praha hl.m.	Pražský hrad	1962	84031

Typ: NP : Národní kulturní památka
Název: Pražský hrad
Okres: Praha hl.m. **Od roku:** 1962 **Do roku:**

Charakteristika: Nařízení vlády č. 147/1999 Sb.: Nemovité: areál Pražského hradu tvořený stavbami a jinými nemovitými objekty na pozemcích vymezených prostorovými identifikačními znaky, včetně těchto pozemků, s výjimkou staveb a nemovitých objektů, které nebyly prohlášeny za kulturní památku. Movité: vybraný mobiliář z fondu Pražského hradu ze souboru Svatovítského fondu, pokladu chrámu sv. Víta, Svatojířského fondu, fondu kostela Všech svatých a ze souboru obrazů a nástěnných tapiserií a vybraných předmětů archeologického fondu. Vybraný mobiliář je uveden v samostatném inventárním seznamu, který je uložen v Kanceláři prezidenta republiky.

Rozhodnutí

Id.č.	Název rozhodnutí	Rok	Obsah
1962701	Usnesení vlády ČSR č. 251/62 ze dne 30.3.1962	1962	
1999147	Nařízení vlády č. 147/1999 Sb. ze dne 16. června 1999 o prohlášení a zrušení prohlášení některých kulturních památek za národní kulturní památka	1999	text

Památky

Číslo rejstříku	Okres	Název okresu	Sídelní útvar	Část obce	č.p.	Památky	Ulice, nám./umístění	Č. or.	IZ	R	F	IdReg
11719 / 1-922	Praha hl.m.	Praha	Hradčany	č.p.1	Pražský hrad	Praha 1						151651

Fig. 1. Main menu of Central Registry web page

Obligations imposed on building owners and some new changes in the cadastre after implementing the "New Civil Code" dated 01/01/2014 are as follows:

Property owners should hold the documentation on the true object state (actual behaviour of buildings) in the form of complete drawing documentation of buildings or a simplified documentation in the form of a building certificate. This is necessary in the case of the acceptance of the building or a part of it. The information on buildings is included into the Cadastre Register according to the information from the Address Register (RÚIAN), which is managed by the municipality's construction agencies. Principal registers are in the administration of the Czech Republic and they are legally protected by the Act on the principal registries of the country.

DOCUMENTING METHODOLOGY FOR THE ACTUAL BEHAVIOUR OF OBJECTS IN 3D.

Based on the above mentioned, a general methodology for documenting the actual behaviour of objects in 3D was compiled.

First of all, the requirements demanded by restorers and architects for the image scale as well as the smallest detail size that needed to be displayed in 3D are defined.

Thereafter, the requirements for the control point accuracy are determined for a given scale and only then a geodetic network can be planned in accordance with these requirements for accuracy, and technologies for measurements or for detailed surveying can be chosen.

A work execution sequence:

a) Creation of a geodetic network

b) Basic geodetic surveys:

- Polygonometry
- Intersections and resections
- Drawing vertical lines, elevation plan
- Technical levelling
- Referencing the local geodetic network to the geodetic control network (GPS measurements)

c) Detailed survey (surveying of bearing supports, supporting structures, door and window apertures, staircases, roof framings, lift shafts and paving lights, roofs, facades):

- Polar method is used for determination of 3D survey point coordinates,
- Building measures (linear),
- Observations at the control geodetic points for the purposes of photogrammetry and laser scanning,
- Photogrammetric survey (terrestrial from tower cranes, unmanned aerial systems (UAV)) to get aerial photographs used further for measurements,
- Laser scanning (laser scanners, hand scanners, airborne laser scanning) and use of laser scanning data to get point clouds and images,
- The use of special devices (for example, 3D drawing digital pencils, plaster forms, etc.).

d) Geodetic and photogrammetric calculations:

- Calculation of the preliminary coordinates of geodetic control network points,
- Adjustment of geodetic networks,
- Calculation of geodetic control point coordinates and coordinates of detailed survey points:

➤ photogrammetric orientation and detailed survey

- Correlation photogrammetry (Semi-Global Matching) for automatic detection of identical points between air photo pairs or an imagery block based on the image correlation, photogrammetric orientation and the creation of point clouds. Orientation of individual scans, input of a point cloud from laser scanning into a coordinate system.

e) Design of digital drawings (horizontal plans, sectional drawings, and facade drawings) for image scales 1: 5,000-1: 500, 1: 200, 1: 100, 1: 50, 1: 20, 1:10, 1: 5

f) 3D model creation:

- 3D linear graphics, surface plotting using the systems that allow drawing on existing plans and sections in 3D,
- Modelling of 3D DEM,

- Processing of point clouds: editing (clearing), joining, face recognition, replacing a point cloud by 3D planes or 3D objects (a cube, a rectangular parallelepiped, a ball) or objects from the digital database directories, etc.,
- Texture input - unvarnished or in accordance with the client requirements.
- g) Graphical and computer presentation of results
- i) Design of information databases for measured objects
- j) Data input into GIS
- l) Representation of the results of the actual object state in 3D:
 - 3D object viewing , 3D animations,
 - Virtual reality - the advertising industry - motion pictures in 3D, in historic buildings and historical territories, computer games,
 - Virtual viewing of historical objects in 3D,
 - Evacuation plans and crisis and emergency management,
 - Technological solutions and production management - industrial, energy, chemical systems, etc.

CONCLUSIONS. First of all, the 3D technology for modelling of architectural monuments in the Czech Republic was considered. At the next step the concept of early detection of errors in 3D images of actual building behavior and their exception, as well as introduction of new technologies into existing processes and implementation of new technologies into GIS were presented. The methodology for documenting the actual object behavior in 3D was defined and outlined. As an example of a system for documentation and monitoring of cultural heritage objects the database created in the Czech republic was presented.

REFERENCES

1. . Národní památkový ústav. Památkový katalog. Retrieved from <http://monumnet.npu.cz/monumnet.php>.
2. Shults R., Krelshtein P., Kravchenko J., Rogoza, O., Kyselov O. (2017). Low-Cost Photogrammetry for Culture Heritage, 10th International Conference “Environmental Engineering”, Lithuania. <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.237>
3. Shults, R. (2017). New Opportunities of Low-Cost Photogrammetry for Culture Heritage Preservation, ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-5-W1, 481-486.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Národní památkový ústav. Památkový katalog* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://monumnet.npu.cz/monumnet.php>.
2. *Shults R. Low-Cost Photogrammetry for Culture Heritage* / R. Shults, P. Krelshtein, J. Kravchenko, O. Rogoza, O. Kyselov // 10th International Conference “Environmental Engineering”, Lithuania. <https://doi.org/10.3846/enviro.2017.237>.
3. *Shults R. New Opportunities of Low-Cost Photogrammetry for Culture Heritage Preservation* / R. Shults // ISPRS Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-5-W1, 2017. – pp. 481-486.

К. Вах

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ В ЧЕШСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

Статья посвящена рассмотрению вопросов применения 3D-технологий для моделирования архитектурных памятников в Чешской Республике. В нашем случае 3D сохранение памятников истории и культуры означает обработку измеренных данных необходимого содержания в локальной системе координат и в выбранном масштабе. По полученным результатам необходимо определить требования к точности измерений. Основной целью нашего исследования является раннее выявление ошибок в 3D-изображениях фактического поведения здания и их исключение, а также внедрение новых технологий в существующие процессы и внедрение новых технологий в ГИС. В статье изложена методика документирования фактического поведения объекта в 3D. В качестве примера системы документирования и мониторинга объектов культурного наследия в статье рассматривается база данных, созданная в Чешской Республике.

Ключевые слова: точность, детализация документирования архитектурных памятников, методология, поведение реальных объектов в 3D, фотограмметрическая съёмка.

К. Вах

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПАМ'ЯТНИКІВ АРХІТЕКТУРИ В ЧЕСЬКІЙ РЕСПУБЛІЦІ

Стаття присвячена розгляду питань застосування 3D технологій для моделювання архітектурних пам'яток в Чеській Республіці. У розглянутому випадку застосування технології 3D моделювання для збереження пам'яток історії та культури означає оброблення даних вимірювань необхідного змісту в локальній системі координат і в обраному масштабі. За отриманими результатами в роботі визначено необхідні вимоги до якості вимірювань. Основною метою наведеного дослідження є розроблення методики та переліку вимог для раннього виявлення помилок на 3D-моделях для фіксації фактичного стану пам'яток архітектури, а також впровадження нових технологій в існуючі процеси моніторингу пам'яток архітектури та впровадження нових технологій в ГІС. У статті викладена методика документування фактичного стану пам'яток архітектури у форматі 3D. Розглянуто основні етапи, які включають: створення геодезичної мережі, детальне геодезичне знімання, фотограмметричне знімання, створення 3D-моделі, проектування бази даних та застосування технологій віртуальної реальності. Як приклад системи документування і моніторингу об'єктів культурної спадщини в статті

розглядається база даних, створена в Чеській Республіці на основі геодезичних і фотограмметричних технологій.

Ключові слова: точність, деталізація документування архітектурних пам'яток, методологія, поведінка реальних об'єктів в 3D, фотограмметричне знімання.

Надійшла до редакції

19.02.2018

УДК 528.48

Ю.В. Горковчук, канд.техн.наук, доцент,
Д.В. Горковчук, аспірант,
кафедра геоінформатики і фотограмметрії,
Н.В. Куліченко, аспірант кафедри інженерної геодезії,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ КРЕНУ СПОРУДИ БАШТОВОГО ТИПУ МЕТОДОМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ

Наведено результати дослідження методу наземного лазерного сканування у вирішенні практичного завдання зі спостереження за креном споруди баштового типу. Як об'єкт дослідження обрано декоративний металевий шпиль висотою близько 50 метрів. Необхідність визначення крену споруди була пов'язана із початком реконструкції, під час якої зафіксовано значні відхилення конструкції від її фактичного положення за матеріалами виконавчого знімання на момент спорудження. За результатами лазерного сканування цієї конструкції побудовано тривимірну модель, яка була порівняна із проектною моделлю. За результатами порівняння визначено крен споруди, а також горизонтальні переміщення у різних перерізах. Виконано попередній розрахунок точності та встановлено, що метод наземного лазерного сканування дозволяє визначати крени споруд баштового типу з необхідною точністю. Окрім крену та переміщень, за тривимірною моделлю визначено кручення споруди. Результати дослідження підтвердили доцільність використання методу наземного лазерного сканування для спостережень за кренами споруд баштового типу.

Ключові слова: крен, наземне лазерне сканування, кручення, тривимірна модель, горизонтальне переміщення.

Вступ. Визначення кренів інженерних споруд баштового типу є типовим завданням інженерної геодезії. До споруд такого типу належать опори ЛЕП, радіо- і телевежі, димові труби, декоративні башти та ін. До теперішнього часу розроблено цілу низку методів, що дають змогу надійно визначати напрямок та величину крену баштових споруд. Серед найбільш поширених методів відмітимо

методи координат та проєціювання. Перший з цих методів дозволяє з високою точністю визначити переміщення будь-якої точки споруди, другий метод є досить простим і не потребує наявності дорогого обладнання. Водночас за останні десятиріччя з'явилося чимало нових геодезичних приладів і технологій, які поступово витісняють класичні технології. У випадку спостережень за кренами особливої популярності набули ГНСС-технології, високоточні датчики та системи наземного лазерного сканування. Саме потенціал останніх не достатньо досліджено у вітчизняних та зарубіжних публікаціях. І це незважаючи на той факт, що за матеріалами наземного лазерного сканування за короткий проміжок часу можна визначити геометрію споруди в цілому (крен, згин, кручення, локальні переміщення тощо). Найчастіше, під час спостережень за кренами дані наземного лазерного сканування використовують як допоміжні, хоча ця технологія є самодостатньою і за правильної організації робіт дає можливість отримати всю необхідну інформацію про геометрію баштовою споруди без додаткових вимірювальних засобів.

Аналіз досліджень і публікацій. До теперішнього часу всі відомі дослідження з використання методу наземного лазерного сканування мали експериментальний характер, оскільки визначення кренів споруд баштового типу виконувалося із застосуванням традиційних методів і технологій, а дані наземного лазерного сканування використовувалися як контрольні виміри. Для прикладу в роботах [1; 2; 4] спостереження виконувалися за допомогою високоточних інклінометрів або електронних тахеометрів з подальшим порівнянням результатів з даними наземного лазерного сканування. Навіть при виконанні робіт тільки з використанням лазерного сканера додатково використовують електронні тахеометри для створення геодезичної мережі та координування марок на споруді. Визначення кренів здійснюється в локальній системі координат, отже, може бути виконане без створення геодезичної мережі.

Іншим важливим питанням є моделювання баштової споруди за даними наземного лазерного сканування. Якщо розглядати такі споруди як градірні як окремий випадок споруд баштового типу, то частково це питання було вирішене у роботах [5; 6]. Проте варто пам'ятати, що градірні мають не таке критичне співвідношення висоти до розміру основи споруди, отже, моделюються простіше. Те саме можна сказати і про висотні споруди [6; 7]. На додаток відмітимо, що часто до споруд баштового типу, особливо культурно-релігійного призначення, не можуть бути застосовані прості математичні поверхні для моделювання [8]. Отже, питання визначення кренів споруд баштового типу за методом наземного лазерного сканування залишається актуальним і потребує розроблення єдиної технології.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження можливостей методу наземного лазерного сканування для визначення кренів споруд баштового типу та розроблення єдиного комплексного підходу до використання наземного лазерного сканування без використання додаткових засобів вимірювання.



Рис. 1. Об'єкт дослідження – декоративний шпиль

Виклад основного матеріалу.
 Як об'єкт геодезичного моніторингу для визначення кренів був обраний скульптурний елемент висотою 50 м у вигляді металевго шпиля з оздобленням (рис. 1). Співвідношення висоти й основи становить 1/17. Об'єкт розташований у вхідній групі культурного центру Київського палацу дітей та юнацтва в центральній частині міста Києва. За своїм призначення споруда належить до категорії об'єктів, що утворюють єдиний архітектурний ансамбль з іншими спорудами культурного центру. Розміщення об'єкта моніторингу разом з навколишніми спорудами наведено на рис. 2.

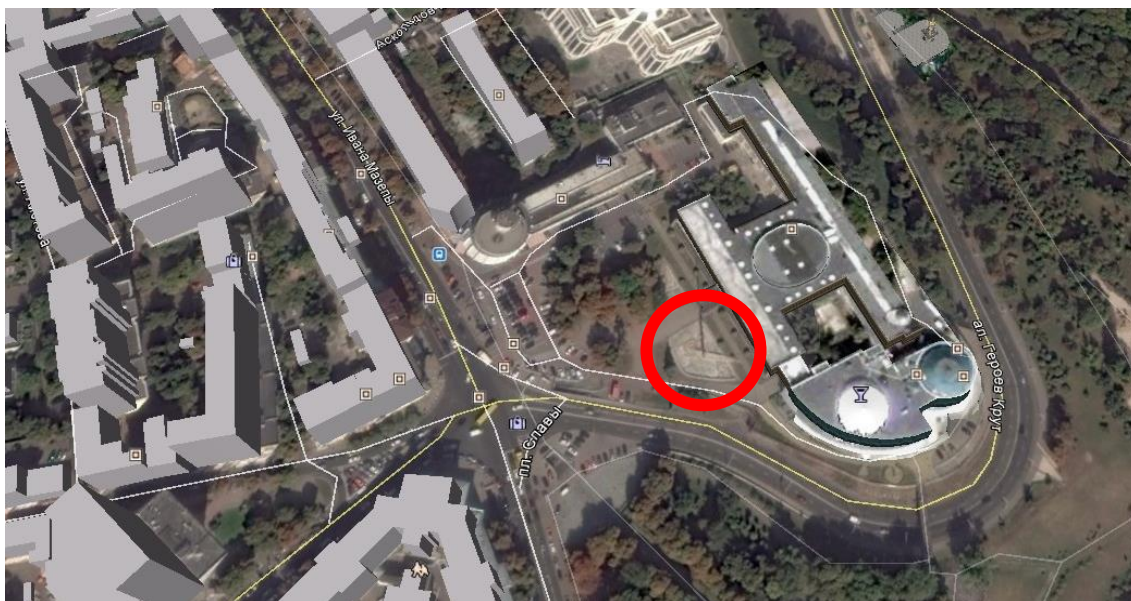


Рис. 2. Географічне розташування об'єкта моніторингу

Для даного об'єкта були відомі вихідні креслення з проектною геометрією. Згідно з матеріалами виконавчого знімання після зведення шпиля у 1965 році відхилення від проекту не перевищували нормативних вимог, що наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Вимоги до точності забезпечення геометричних параметрів

Геометричні параметри	δ , мм
Фактичне положення змонтованих конструкцій	5-20

Перш за все з'ясуємо, з якою точністю необхідно виконати вимірювання і чи достатньою буде точність наземного лазерного сканування. Оскільки відстань сканування не перевищує 75 м, то точність сканування можемо прийняти рівною паспортній точності моделювання поверхні – 2 мм. Наведені у табл. 1 вимоги стосуються стадії контрольних вимірів та виконавчих знімань, тому вони можуть бути використані як вихідні для призначення точності геодезичного моніторингу без змін. Водночас для висотних споруд може бути застосований підхід, за якого точність визначення переміщення розраховують залежно від висоти споруди. У такому випадку можна скористатися виразами:

$$\delta_1 = 4.55\sqrt[3]{H^2}, \quad (1)$$

$$\delta_2 = \left(0.8 + \frac{H}{2000}\right)\sqrt{H}, \quad (2)$$

$$\delta_3 = 0.167H, \quad (3)$$

$$\delta_4 = 2.82\sqrt{H}. \quad (4)$$

За наведеними виразами допустимі відхилення визначають у міліметрах, де H – висота у метрах. Дані вирази використовуються різними дослідниками для призначення точності геодезичних робіт при зведенні висотних споруд. Виконаємо розрахунок точності за вказаними виразами. Результати розрахунку наведено у графічному вигляді на рис. 2.

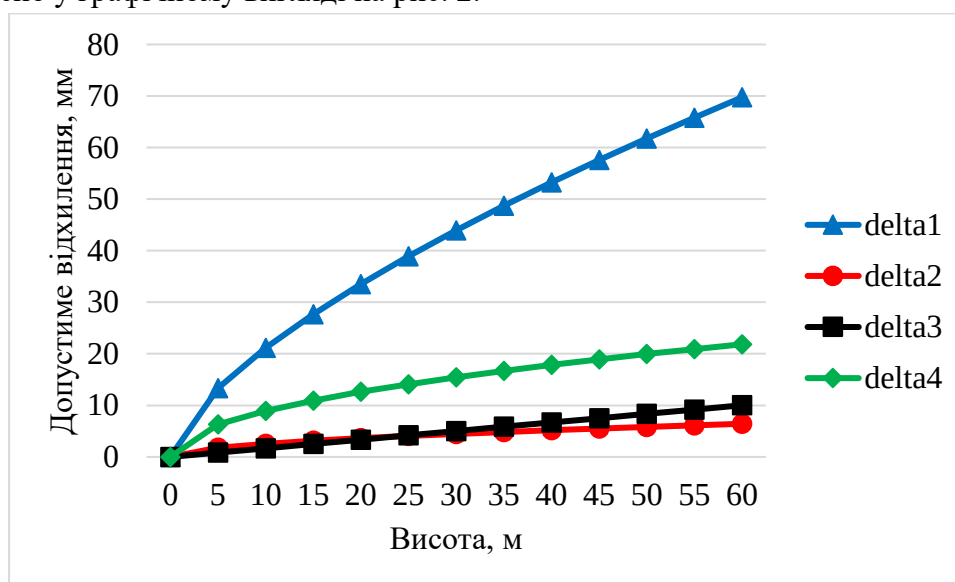


Рис. 2. Графіки нормативної точності забезпечення геодезичних робіт у висотному будівництві

Аналізуючи результати розрахунку, бачимо, що найбільш жорсткі вимоги до точності вимірювань отримано за виразом (2). Для висоти 50 м маємо допустиме відхилення 6 мм і як наслідок середнє квадратичне відхилення 2,4 мм,

тобто навіть за таких жорстких вимог наземне лазерне сканування може бути використане для вимірювань.

У вступній частині було відмічено, що наземне лазерне сканування є самодостатньою технологією, тобто може бути використане без додаткових вимірювальних засобів. Саме за таким принципом були виконані подальші роботи. Для сканування використано універсальний компактний лазерний сканер Leica ScanStation C10, який є одним з найпопулярніших приладів в серії сканерів ScanStation і забезпечує найвищу ефективність і продуктивність під час виконання робіт і за своїми характеристиками задовольняє необхідну точність.

Сканування було виконане з трьох станцій, положення яких наведено на рис. 3. Під час сканування на одній зі станцій розміщували лазерний сканер, а на двох інших – марки.

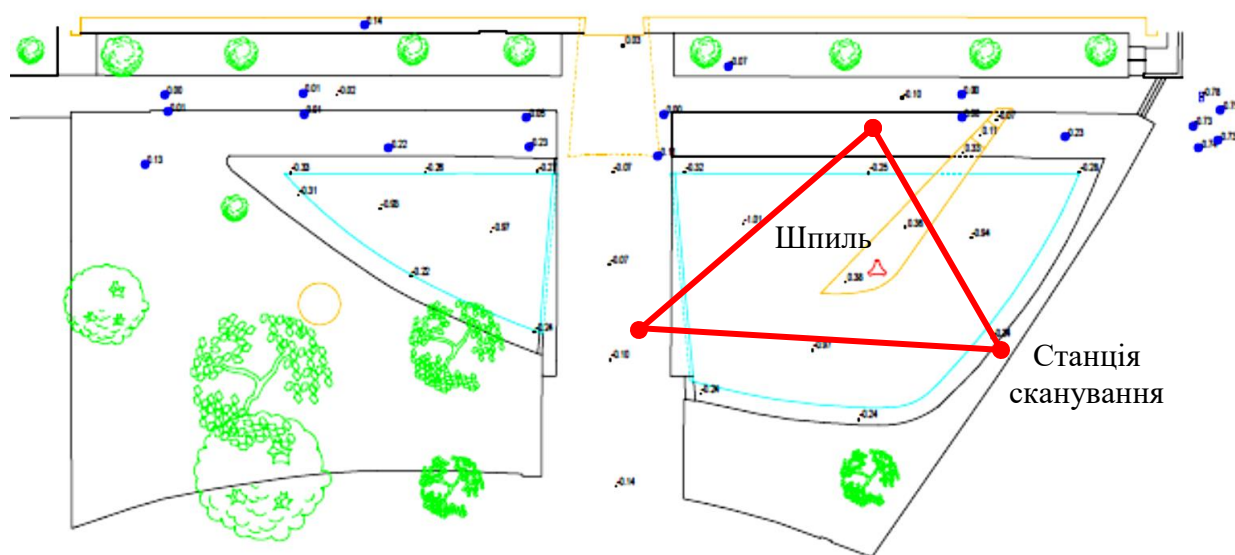


Рис. 3. Положення об'єкта дослідження та станцій сканування

При використанні наземного лазерного сканування комплекс робіт в класичному варіанті містить такі основні процеси: рекогностування та вибір станцій; визначення зон перекриття сусідніх сканів та розміщення марок в зонах перекриття; побудова планово-висотної основи з визначенням просторових координат точок стояння сканера і марок; безпосереднє виконання лазерного сканування; камеральне оброблення окремих сканів; зшивання сканів в одну точкову модель і геодезичне орієнтування цієї моделі; створення моделі об'єкта за методом тріангуляції Делоне, або виділення конкретних моделей об'єктів на сканах за методами апроксимації поверхонь; отримання конкретних даних про модель.

У нашому випадку під час моніторингу деякі з етапів можуть бути пропущені або спрощені. Зокрема, немає потреби у розміщенні контрольних марок на споруді, а також у побудові планово-висотної основи з визначенням просторових координат точок стояння сканера і марок.

Попереднє оброблення даних НЛС було виконане з використанням програмного продукту фірми-виробника сканера Leica Cyclone. За результатами оброблення отримано тривимірну модель споруди.

На наступному кроці безпосередньо за тривимірною моделлю побудовано вертикальні та горизонтальні перерізи, за якими були визначені величини переміщень споруди відносно її фактичного положення на момент зведення (рис. 4; 5).

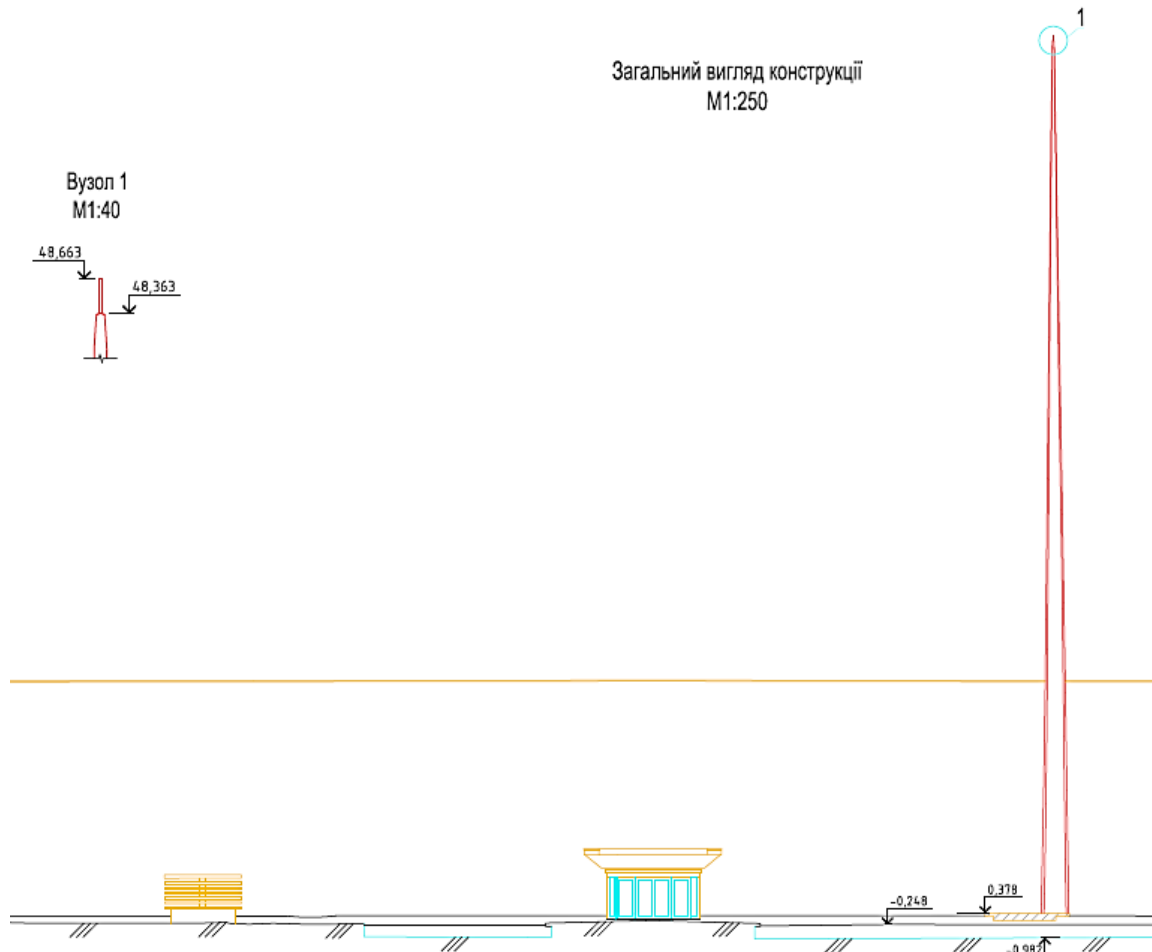


Рис. 4. Вертикальний переріз

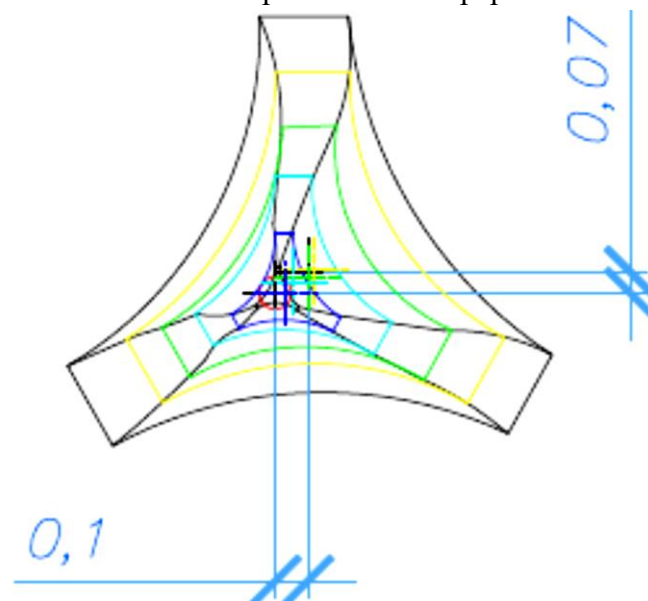


Рис. 5. Проекція горизонтальних перерізів на площину

На рис. 5 наведено горизонтальні перерізи з центрами перерізів. Максимальні переміщення зафіксовано у верхній частині споруди. Величини зафіксованих переміщень в перерізах наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Горизонтальні переміщення шпилья відносно вертикальної осі

Відмітка, м	Горизонтальні переміщення, м	
	ΔX	ΔY
10	0,021	0,004
20	0,001	-0,018
30	-0,043	0,030
40	-0,069	-0,065
48	-0,100	-0,070

Для зручності аналізу наведемо результати вимірювань горизонтальних переміщень в графічній формі (рис.6).

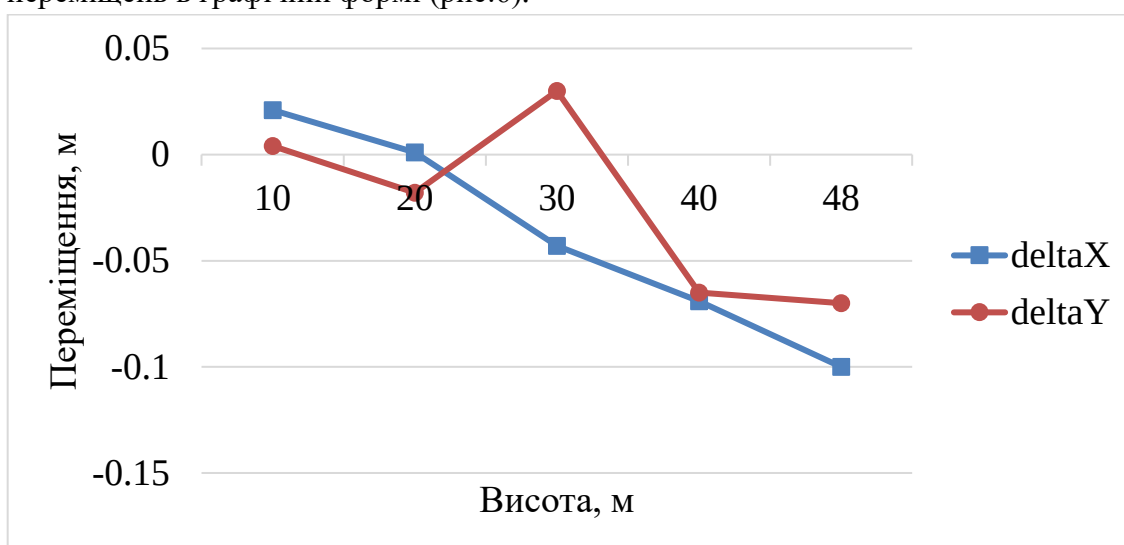


Рис. 6. Горизонтальні переміщення вздовж координатних осей

Графіки на рис. 6 вказують на наявність не тільки крену а й згину у середній частині конструкції. Вважаючи нижню частину шпилья за таку, що не зазнала змін, відносно неї за тривимірною моделлю споруди виміряно кручення шпилья. Результати вимірювань кручення наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Кручення в різних частинах споруди

Відмітка, м	Кручення конструкції, °
10	0,422
20	1,541
30	0,837
40	0,708

Як бачимо, за період понад 50 років геометрія споруди шпилья зазнала суттєвих змін. Отримані результати в подальшому були використані проектувальниками для розроблення проекту реконструкції шпилья.

Висновок. Відмітимо, що технологія наземного лазерного сканування виявилася вкрай ефективною для виконання геодезичного моніторингу. Для споруд такого класу моніторинг виконується з використанням одного приладу, без створення геодезичної мережі, а результатом є тривимірна модель, що дає змогу виконати всебічний аналіз геометрії споруди. Точність наземного лазерного сканування є цілком достатньою для виконання подібних робіт, при цьому єдиним джерелом похибок є похибки безпосередньо лазерного сканування.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Yigit C.O., Inal, C., Yetkin, M. Monitoring of tall building's dynamic behaviour using precision inclination sensors. / 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis 4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering Lisbon, May, 2008.
2. Rădulescu G., Rădulescu, M., Rădulescu, A. Research On The Development Of Tools, Methods And Technologies Involved In The Structural Monitoring Process Of Buildings, In Static And Dynamic Regime. // International Journal of Engineering and Applied Sciences. 2014. – Volume 6, Issue 2. – P. 1—13.
3. Ioannidis C., Valani, A., Georgopoulos, A., Tsiligiris, E. 3D model generation for deformation analysis using laser scanning data of a cooling tower. / 3rd IAG / 12th FIG Symposium, Baden, May 22-24, 2006.
4. Schafer T., Wasmeier, P., Ratke, K., Foppe, K., Preu, G. Motion detection at Munich's Olympic Tower with a multi-sensor system operating at different sampling rates / XXIII FIG Congress Munich, Germany, October 8-13, 2006.
5. Schneider D. Terrestrial laser scanning for area based deformation analysis of towers and water damns. / 3rd IAG / 12th FIG Symposium, Baden, May 22-24, 2006.
6. Вальков В.А. Геодезические наблюдения за процессом деформирования высотных сооружений с использованием технологии наземного лазерного сканирования [Текст]: дис. ... канд. техн. наук / В.А. Вальков. – СПб., 2015. – 158 с.
7. Войтенко С.П. Визначення кренів інженерних споруд методом наземного лазерного сканування / С.П. Войтенко, Р.В. Шульц, М.В. Білоус // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2009. - Вип. I (17). – С. 144-150.
8. Шульц Р.В. Математичні моделі визначення кренів споруд баштового типу за матеріалами наземного лазерного сканування / Р.В. Шульц // Інженерна геодезія. – 2011. – № 56. – С. 267-274.

REFERENCES

1. Yigit, C.O., Inal, C., Yetkin, M. (2008). Monitoring of tall building's dynamic behaviour using precision inclination sensors. *13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis 4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering*, Lisbon.
2. Rădulescu, G., Rădulescu, M., Rădulescu, A. (2014). Research On The Development Of Tools, Methods And Technologies Involved In The Structural Monitoring Process Of Buildings, In Static And Dynamic Regime. *International Journal of Engineering and Applied Sciences*, 6 (2), 1—13.

3. Ioannidis, C., Valani, A., Georgopoulos, A., Tsiligiris, E. (2006). 3D model generation for deformation analysis using laser scanning data of a cooling tower. *3rd IAG. 12th FIG Symposium*, Baden.
4. Schafer, T., Wasmeier, P., Ratke, K., Foppe, K., Preu, G. (2006). Motion detection at Munich's Olympic Tower with a multi-sensor system operating at different sampling rates. *XXIII FIG Congress*. Munich, Germany.
5. Schneider, D. (2006). Terrestrial laser scanning for area based deformation analysis of towers and water damns. *3rd IAG. 12th FIG Symposium*, Baden.
6. Valkov, V.A. (2015). Geodezicheskie nabljudenija za processom deformirovannija vysotnyh sooruzhenij s ispol'zovaniem tehnologii nazemnogo lazernogo skanirovanija [Geodetic observations of the process of deformation of high-rise buldings using the technology of terrestrial laser scanning]. *PhD Thesis*. SPb [in Russian].
7. Vojtenko, S.P., Shults R.V., Bilous M.V. (2009). Vznachennja kreniv inzhenernih sporud metodom nazemnogo lazernogo skanuvannja [Determination of rolls of engineering structures by terrestrial laser scanning method]. *Suchasni dosjagnennja geodezichnoї nauki ta virobnictva – Modern achievements of geodetic science and industry*, I (17), pp. 144-150 [in Ukrainian].
8. Shults, R.V. (2011). Matematichni modeli viznachennja kreniv sporud bashtovogo tipu za materialami nazemnogo lazernogo skanuvannja [Mathematical models for determining the rolls of tower constructions based on terrestrial laser scanning data]. *Inzhenerna geodezija – Engineering geodesy*, 56, pp. 267-274 [in Ukrainian].

Ю.В. Горковчук, Д.В. Горковчук, Н.В. Куличенко
ИССЛЕДОВАНИЕ КРЕНА СООРУЖЕНИЯ БАШЕННОГО ТИПА
МЕТОДОМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Приведены результаты исследования метода наземного лазерного сканирования при решении практической задачи наблюдения за креном сооружения башенного типа. В качестве объекта исследования был выбран декоративный металлический шпиль высотой около 50 метров. Необходимость определения крена сооружения была связана с началом реконструкции, в ходе которой были зафиксированы значительные отклонения конструкции от ее фактического положения по материалам исполнительной съемки на момент постройки. По результатам лазерного сканирования этой конструкции была построена трехмерная модель, которая сравнивалась с проектной моделью. По результатам сравнения был определен крен сооружения, а также горизонтальные перемещения в различных сечениях. Выполнен предварительный расчет точности и установлено, что метод наземного лазерного сканирования позволяет определять крены сооружений башенного типа с требуемой точностью. Кроме крена и перемещений, по трехмерной модели было определено кручение сооружения. Результаты исследования подтвердили целесообразность использования метода наземного лазерного сканирования для наблюдений за кренами сооружений башенного типа.

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

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

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

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

Надійшла до редакції

22.02.2018

УДК 528.72/73

О. Є. Куліковська, д-р техн. наук, професор,
ДВНЗ «Криворізький національний університет»
Ю. Ю. Атаманенко, науковий співробітник НДЛ ППД,
Донецький юридичний інститут МВС України
О. К. Копайгора, асистент кафедри вищої
математики та інформаційних систем
Донецький національний університет економіки та торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського

РЕЗУЛЬТАТИ КАЛІБРУВАННЯ ЦИФРОВОЇ КАМЕРИ БПЛА
ЗА АЕРОЗНІМКАМИ ТЕСТОВОГО ПОЛІГОНА

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

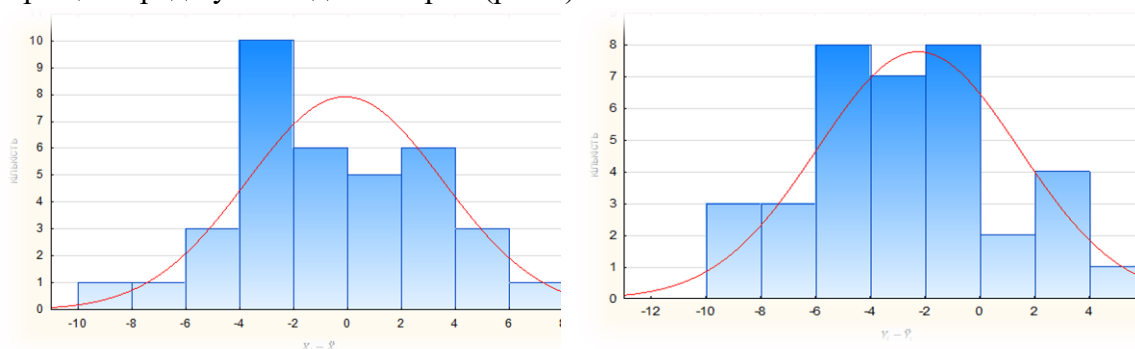
Для виконання калібрування камери тест-полігон закріплено 36 маркованими опорними точками з деяким перепадом висотної відмітки. Спираючись на відомі координати трьох вихідних пунктів тахеометричного знімання, яке виконувалося паралельно з аерозніманням на тестовому полігоні, визначено в програмному комплексі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

Таблиця

Різниця координат марок тестового полігона

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

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



а

б

Рис. 1. Варіаційні ряди у вигляді гістограм:

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

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

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

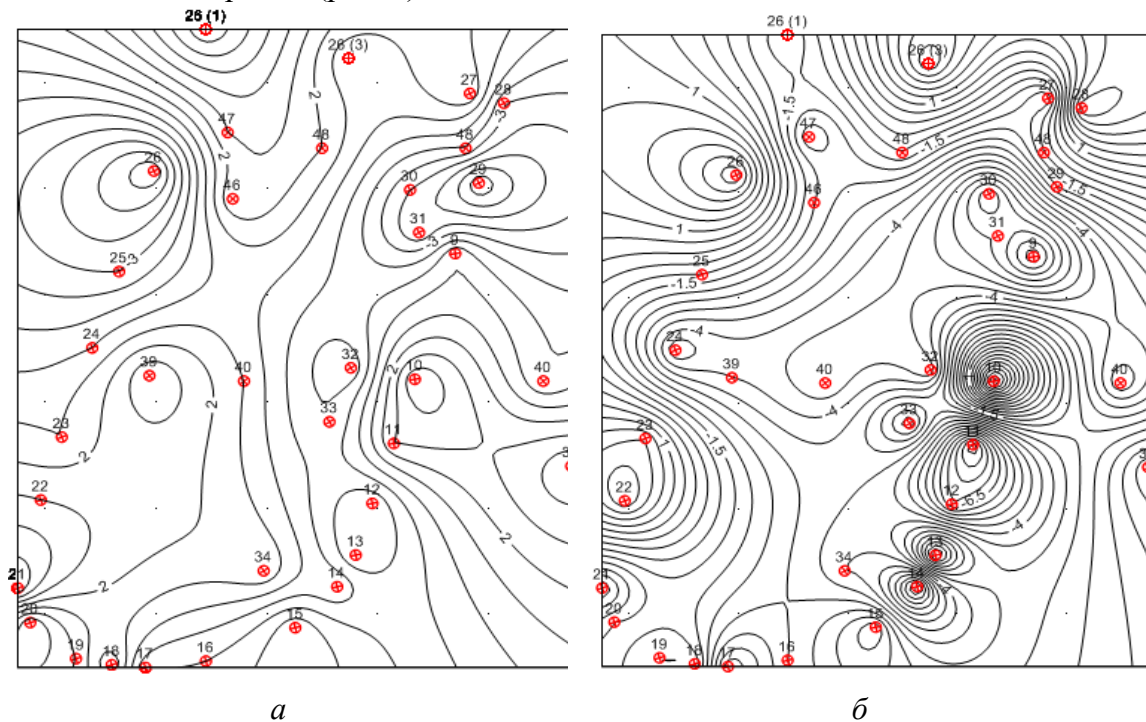


Рис. 2. Цифрові моделі тест-об'єкта з відображенням рельєфом поверхні у вигляді ізоліній: *а* – побудована за даними ΔX ; *б* – побудована за даними ΔY

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

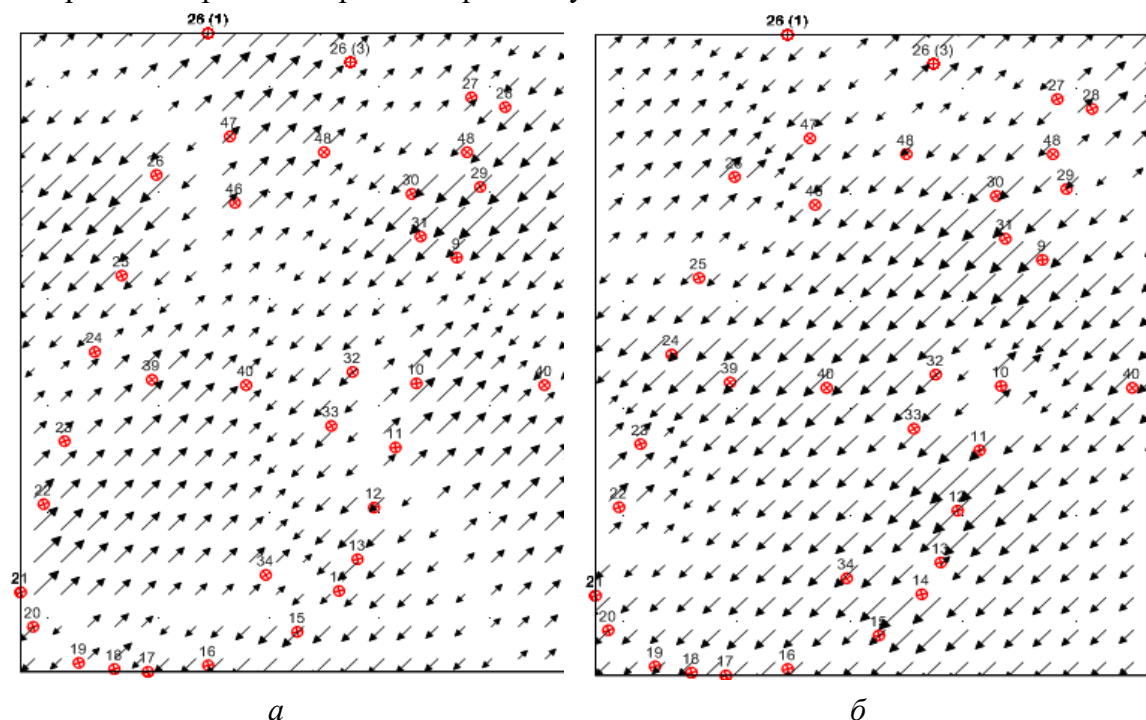


Рис. 3. Векторні діаграми геометричних спотворень координат марок: *а* – побудована за даними ΔX ; *б* – побудована за даними ΔY

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

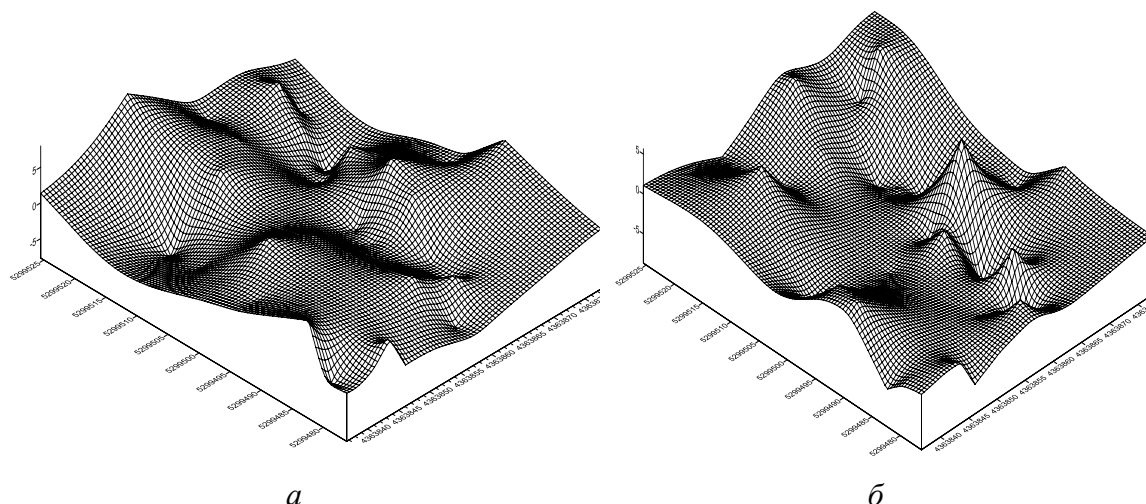


Рис. 4. 3D-моделі спотворення координат марок тестового об'єкта:

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

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

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

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

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

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

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

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

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

REFERENCES

1. Mihailov A. P., Montel Andrade E. R. & Manuel de Hesus P. V. (2013). O primenenii cifrovih fotokamer so shtorno-schelevim zatvorom dlya vipolneniya aerofotosemki s legkomotornih i bespilotnih letatel'nykh apparatov [On the use of digital cameras with a curtain-slotted shutter for aerial photography performed with the help

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Надійшла до редакції

03.03.2018

УДК 517.7

Б.Р. Сосса

*Начальник відділу геоінформаційних
технологій та сканування АТ НВК “Курс”*

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

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

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

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

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

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

зауважуємо, як постійно підвищується точність обладнання. Однак деякі види інженерно-геодезичних робіт поки що можна виконувати лише традиційними методами. Підвищення точності НЛС передусім дасть змогу вирішувати задачі інженерної геодезії, пов'язані з високоточними вимірюваннями, наприклад, проводити високоточне виконавче знімання, моніторинг об'єктів підвищеної категорії складності тощо. Крім того, отримувана надлишкова інформація може бути використана для розв'язання суміжних завдань, наприклад, для визначення прогинів і деформацій конструктивних елементів, контролю різних площин тощо.

Подальше підвищення точності приладів утруднене через конструктивні особливості механізмів, використовуваних у сучасних системах, наявність тертя в деталях, що обертаються, температурних деформацій та ін. Невід'ємним завданням з підвищення точності є калібрування систем НЛС, яке через вказані особливості систем є складною задачею, що на сьогоднішній день не має однозначного розв'язання.

Калібрування можна визначити як «процес визначення параметрів, за допомогою яких мають бути виправлені виміряні величини для отримання їхніх дійсних значень» [17]. Найчастіше калібрування пов'язане з визначенням інструментальних похибок, а саме розбіжностей між реальним й ідеальним інструментом, які виникають через недосконалість механічних й електронних компонентів. Калібрування НЛС може бути виконане одним з наведених далі методів.

1. *Апаратне калібрування* виконують для окремих частин інструмента, таких як віддалемірна і кутомірна системи. Цей тип калібрування потребує досконалого розуміння моделі похибок сканера. Проте таке розуміння обмежене виробником обладнання патентуванням окремих компонентів і систем. Крім того, апаратне калібрування потребує доступу до спеціальних можливостей, на кшталт високоточних базових ліній, компараторів, високоточних кутових мір, що є практично неможливим для пересічного користувача [18]. При цьому важливо пам'ятати, що побудована таким чином математична модель похибок має фізичний зміст, тобто описує конкретний фізичний процес. Деякі вчені надалі досліджують окремо інструментальні похибки НЛС [4; 17; 18]. Імовірно, що в подальшому це сприятиме підвищенню точності.

2. *Системне калібрування*. У цьому випадку використовують підхід, відомий з фотограмметрії, в якій системне калібрування визначають як «визначення параметрів внутрішнього орієнтування та всіх систематичних похибок для всіх камер (зображень)» [10; 11]. Системне калібрування може бути виконане шляхом самокалібрування, яке у фотограмметрії трактується як «визначення всіх систематичних похибок (плюс, можливо, параметри внутрішнього орієнтування) одночасно з усіма іншими параметрами системи (сумісне вирівнювання), використовуючи концепцію додаткового оцінювання параметрів». Зважаючи на системну подібність фотограмметричного процесу і НЛС, можна сформулювати остаточне визначення терміна: *самокалібрування — це визначення всіх систематичних похибок НЛС одночасно з усіма іншими параметрами системи*. У системному калібруванні, на відміну від апаратного, розуміння моделі похибок сканера не є надто важливим. За такого підходу

застосовують поліноміальні моделі різного типу [13-15], які найкраще описують залежність між виміряними величинами та їх похибками. Отже, оцінювання інструментальних похибок виконується без врахування причин або характеру їх походження [17]. Такий підхід якнайкраще відповідає підходу до моделі сканера, як до «чорної скриньки». Метод самокалібрування, розроблений для фотограмметрії на початку 1970-х років, більшість дослідників вважає оптимальним методом калібрування наземних лазерних сканерів.

Аналіз досліджень і публікацій. Як і в класичних геодезичних приладах, калібрування (юстування) — надзвичайно важливий процес і передумова отримання максимально точної і надійної інформації про тривимірне положення як всієї хмари точок, так і похідних від неї геометричних характеристик об'єкта [3].

Попри величезну кількість досліджень з теорії та методів калібрування систем НЛС, як зазначено в праці [4], сама наявність такої кількості підходів свідчить про те, що до вироблення оптимального методу ще дуже далеко. Математичній моделі калібрування приділено багато уваги в зарубіжних дослідженнях. Можна сказати, що нині ця модель охоплює майже весь спектр можливих додаткових параметрів калібрування. Ті параметри, що лишаються поза цією моделлю, називають емпіричними, їх отримують, досліджуючи конкретну модель НЛС. У 2010 р. були спроби використати для опису математичної моделі похибок тривимірну статистику і теорію графів [9], проте ця модель не змогла скласти конкуренції загальноприйнятій. Структура математичної моделі калібрування НЛС дотепер не визначена.

Особливістю публікацій останніх років є дискусія щодо вибору даних для калібрування. Використання хмари точок породило суперечку про те, які об'єкти слід брати для калібрування: точкові [8], площинні [5], циліндричні [7] чи сферичні [17]. Дослідження згаданих джерел та проведених на їх основі практичних заходів, свідчать що, використовуючи різні типи калібрувальних марок, отримують результати з однаковою точністю. Більший вплив на точність калібрування мають технічні характеристики досліджуваного наземного лазерного сканера.

Постановка завдання. Калібрування НЛС за допомогою марок різного типу у згаданих джерелах проводилося в межах одного приміщення. Таким чином, максимальна відстань до марок становила, в кращому разі, декілька десятків метрів. Проте сучасні сканери працюють в діапазоні до кількох сотень метрів. Крім того, в дослідженнях, що стосуються створення калібрувальних полігонів [1; 3] описано моделі полігонів з довжиною ліній в декілька сотень метрів. Такі полігони можуть бути використані для калібрування більшості моделей сучасних НЛС. Таким чином, склалася ситуація, коли практичні дослідження методів калібрування не відповідають (насамперед, по максимальних відстанях) наявним математичним моделям калібрувальних полігонів. У пропонованій статті досліджено форми і розміри калібрувальних марок для можливості проведення калібрування по всій робочій відстані НЛС.

Основна частина. Наземні лазерні сканери, як гібридного, так і панорамного типу, сканують по регулярній сітці з інтервалом, що називається

кроком сканування. Зазвичай розміри сітки становлять одиниці або навіть частки міліметра на близьких відстанях. Очевидно, що в міру збільшення відстані комірки сітки ставатимуть більшими. Навіть якщо знехтувати величиною розсіювання лазерного променя та відповідним збільшенням лазерної плями, для більшої віддаленості від сканера потрібна марка більших розмірів.

Метою статті є дослідження форми і розміру марок різних типів і можливість їх однозначного визначення на різних відстанях від сканера.

Калібрувальні марки, відомі також як тестові об'єкти калібрування, бувають двох типів – точкові і площинні. Крім плоскої точкової марки, в якій визначають координати особливим чином виділеної точки, існує сферична марка, в якій визначають координати її центра.

Наводимо зображення плоских точкових і сферичної марок (рис. 1).

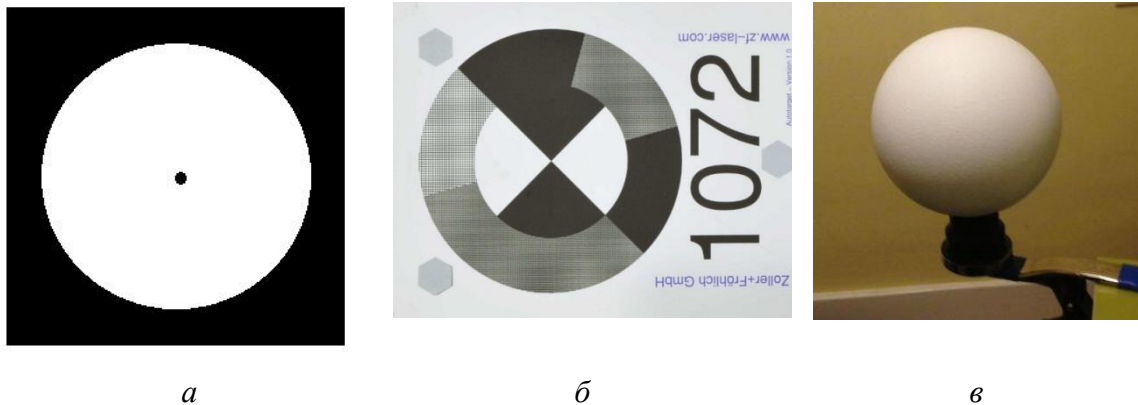


Рис.1. Калібрувальні марки:
а і б – точкові плоскі, в – сферична

Координати центра точкових марок, згідно з дослідженнями [8; 14] визначають в полярних координатах:

$$\begin{aligned}\rho_{ij} &= \sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2 + z_{ij}^2} + \Delta\rho; \\ \varphi_{ij} &= \arctan\left(\frac{y_{ij}}{x_{ij}}\right) + \Delta\varphi; \\ \alpha_{ij} &= \arctan\left(\frac{z_{ij}}{\sqrt{x_{ij}^2 + y_{ij}^2}}\right) + \Delta\alpha,\end{aligned}$$

де ρ_{ij} , φ_{ij} , α_{ij} – відстань, горизонтальний кут і вертикальний кут відповідно точки i в системі координат сканера j ; x_{ij} , y_{ij} , z_{ij} – прямокутні координати точки i в системі координат сканера j ; $\Delta\rho$, $\Delta\varphi$, $\Delta\alpha$ — додаткові систематичні поправки у, відповідно відстань, горизонтальний і вертикальний кут.

У разі використання площинних калібрувальних марок всі виміряні точки мають відповідати умовному рівнянню належності точки площині. Використання таких марок має ті переваги, що для цього не потрібні спеціальні плоскі або сферичні об'єкти і можна використовувати наявні на полігоні площини.

Використовуючи комбіноване перетворення Гаусса–Гельмерта, параметри площини, зовнішнього орієнтування та калібрування підставляють у рівняння

найменших квадратів:

$$n_k^T (M_j^T p_{ij} + P_{cj}) d_k = 0,$$

де n_k – вектор нормалі до площини k ; M_j – матриця повороту, що визначає обертання сканера j як функцію від кутів Ейлера; p_{ij} — результуючий вектор x_{ij} y_{ij} z_{ij} ; P_{cj} визначає тривимірне положення сканера j ; d_k – нормальна відстань від початку координат до площини k .

Дані досліджень [16] плоских площинних марок наочно підтверджують, що точність визначення координат за допомогою НЛС залежить не тільки від відстані до точки, а й від кута нахилу марки. Це є одним з недоліків використання точкових марок, особливо зважаючи на той факт, що кожен марку потрібно сканувати з різних станцій.

Одним із суттєвих недоліків використання площин як марок для калібрування є можлива відсутність геометрично правильних площин. Наприклад, поверхні в приміщенні (стіни, підлога, стеля) досить часто мають «вкраплення» у вигляді вентиляційних отворів, приладів освітлення тощо. Неякісно виконані будівельні і монтажні роботи також можуть призвести до того, що поверхня буде нерівною, що унеможливить проведення калібрування по ній. Поверхні поза приміщенням, які використовують для калібрування, перебувають під впливом зовнішніх умов та зазнають температурних та інших деформацій. В такому разі можна розглянути альтернативні форми поверхонь, наприклад, циліндричні.

Крім того, що вони досить часто трапляються — труби, пілони (в приміщенні), стовпи, опори, знаки (просто неба), їх переваги в тому, що їх зазвичай виготовляють фабричним способом і витримують геометричну точність циліндричної поверхні досить точно. Єдине обмеження у використанні таких об'єктів — їх невеликий діаметр (до 150 мм).

Принцип калібрування по циліндричних марках такий самий, як і по площинних, відрізняється тільки геометрична модель площини. Це дає можливість застосувати метод найменших квадратів для одночасного оцінювання елементів зовнішнього орієнтування, параметрів моделі циліндра і додаткових параметрів системи.

У той час як для плоских площинних марок, незалежно від того, як вони орієнтовані у просторі, потрібна одна геометрична модель, для вертикальних і горизонтальних циліндричних марок потрібно три геометричних моделі [7]: одна вертикальна і дві горизонтальних. Залежно від орієнтації наявних циліндричних поверхонь на полігоні можна виконувати калібрування по одній, двох або трьох моделях одночасно.

Тему автоматичного і неавтоматичного розпізнавання точкових плоских марок висвітлено в окремому дослідженні [2]. Окрім того, є дуже велика кількість типів таких марок з різними способами визначення координат їх центра, тому в пропонованому дослідженні вони не розглядаються. Таким чином, в подальшому йтиметься про площинні (плоскі і циліндричні) та сферичні марки.

Більшість сучасних моделей НЛС, відповідно до технічних характеристик, мають крок сканування від 1 до 3 мм на 10 м. Для можливого оцінювання більшого діапазону моделей нами обрано крок сканування 2 мм. Зважаючи на те,

що максимальна відстань сканування для переважної більшості моделей не перевищує 350-400 м, відстані, для яких виконували розрахунки, не перевищують 350 м з інтервалом 50 м. Зведемо дані по відстанях між сусідніми точками сканування по горизонталі і вертикалі в табл. 1:

Таблиця 1

Відстань між двома сусідніми точками сканування залежно від відстані до сканера

Відстань до сканера, м	50	100	150	200	250	300	350
Відстань між точками, мм	10	20	30	40	50	60	70

З геометричного погляду, для однозначного визначення площини потрібно три неколінеарні точки. Зважаючи на велику вірогідність знаходження точок з одного проходу скануючої головки на одній осі, варто розглядати дві точки з одного проходу і одну-дві з сусіднього. Для сфери мінімальна кількість точок становить чотири неколінеарні і некопланарні точки. Зважаючи на вірогідність знаходження чотирьох точок з двох проходів на одній площині, варто розглядати мінімум п'ять точок — або дві з одного проходу і три з сусіднього, або по дві з двох проходів і одну з третього. Для циліндра можливим є рішення за 5, 6, 7 і 8 точками [6], проте воно має певні обмеження по колінеарності і копланарності точок [12; 19], тому, беручи до уваги потенційне розміщення циліндра паралельно одній з координатних осей системи координат сканера, варто розглядати набір з дев'яťох точок — по три з трьох сусідніх проходів.

Далі наведено схеми розміщення мінімального набору точок для однозначного визначення відповідних поверхонь. Суцільними лініями позначено проходи скануючої головки, колами — точки сканування, заповненими колами — точки сканування, потрібні для однозначного визначення поверхонь.

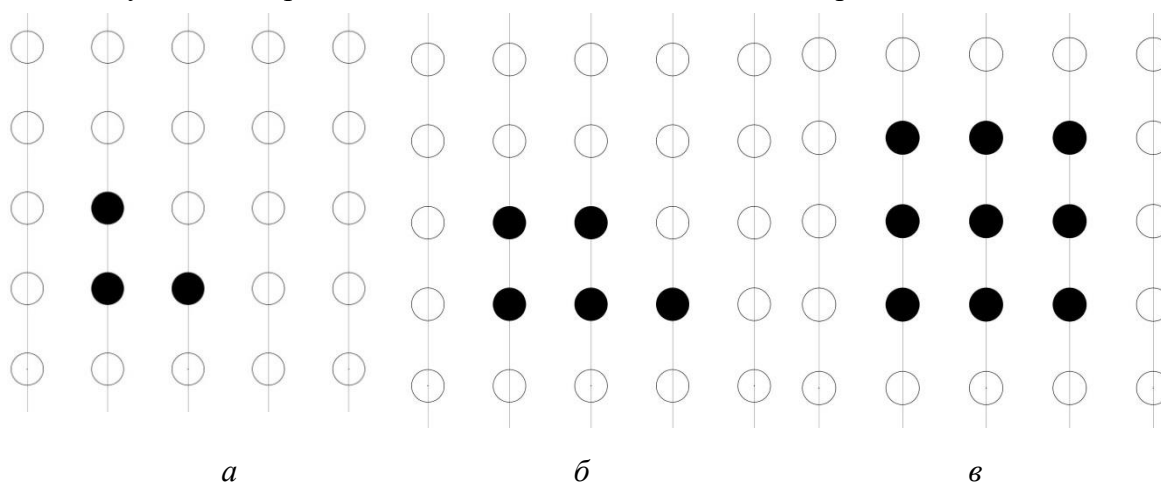


Рис.2. Мінімальний набір точок сканування для однозначного визначення поверхонь: *a* – площини; *б* – сфери; *в* – циліндра

Позначимо відстань між сусідніми точками як d . Таким чином, максимальна відстань між точками сканування для площини, сфери і циліндра становить відповідно d , $3d$ і $3d$. У розрахунках розмірів контрольних марок також потрібно зважати також на те, що така конфігурація точок справедлива для ідеального випадку попадання лазерного променя на відповідну площину. Для

забезпечення однозначного визначення поверхонь треба збільшити максимальну відстань в кожному випадку на величину d . Таким чином, максимальні відстані становитимуть відповідно $2d$, $4d$ і $4d$.

Величини d для різних відстаней від сканера до об'єкта наведено в табл. 1. Узагальнимо дані щодо мінімальних наборів точок в табл. 2.

Таблиця 2

Мінімальний розмір контрольних марок різних типів залежно від відстані до сканера

Відстань до сканера, м	50	100	150	200	250	300	350
Відстань між точками, мм (d)	10	20	30	40	50	60	70
Мінімальний розмір контрольної марки, мм							
Плоска ($2d$)	20	40	60	80	100	120	140
Сферична ($4d$)	40	80	120	160	200	240	280
Циліндрична ($4d$)	40	80	120	160	200	240	280

З наведеної таблиці видно, що для калібрування НЛС на всіх діапазонах відстаней за допомогою площинних марок достатньо плоских поверхонь з стороною, не меншою за 70 мм. На практиці поверхні такого і більшого розмірів трапляються досить часто. З приводу сферичних марок варто зауважити, що їх стандартний діаметр зазвичай становить 200 мм, в деяких випадках — 400 мм. Отже, в разі використання марок такого типу збільшеного діаметра можливим є калібрування НЛС на всіх діапазонах відстаней. З таблиці видно також, що стандартні циліндричні об'єкти, наявні в приміщеннях і поза їх межами, доцільно використовувати на невеликих відстанях.

Як уже зазначено, використання наявних плоских поверхонь має недолік, пов'язаний з їх геометричною точністю. Проте за умови наявності геометрично точних поверхонь навіть невеликого розміру, їх доцільно використовувати для калібрування НЛС на всіх діапазонах відстаней. Те саме стосується сферичних марок збільшеного розміру. Перевагою використання таких марок є те, що в процесі калібрування визначаються координати центра марки, що, за наявності вимірювань з різних станцій дає можливість проведення не тільки кутомірного, але й віддалемірного блоку сканера [4]. Використання стандартних циліндричних об'єктів не має такого недоліку, як у плоских, але можливе на менших відносно інших типів марок, відстанях.

Висновки. Виконано дослідження впливу відстані від сканера до калібрувальної марки на вибір її оптимальної форми і розміру. Визначено, що під час калібрування НЛС на відстані, більшій за 200 м, використання циліндричних марок є недоцільним через можливу відсутності мінімального набору точок для визначення циліндричної поверхні. Доведено також, що для великих відстаней доцільно використовувати плоскі площинні або стандартні сферичні марки збільшеного розміру. Очевидно, що під час калібрування НЛС з меншим кроком сканування, ніж взято у дослідженні, відстані для мінімального набору точок будуть збільшуватися пропорційно.

Через велику кількість різних типів плоских точкових марок потребують подальших досліджень способи визначення координат їх центрів у прив'язці до

максимальної відстані, на якій виконують калібрування.

Також потребує подальшого вивчення вплив систематичних похибок лазерного сканера на визначення координат центра сферичної марки або площини плоских і циліндричних площинних марок.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Наземное лазерное сканирование* : монографія / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова. — Новосибирск : Сибирская гос. геодезическая академия, 2009. - 261 с.
2. *Сосса Б.Р.* Порівняльне оцінювання точності координат точкових марок, отриманих способом наземного лазерного сканування / Б.Р. Сосса // Вісник Чернігівського держ. технолог. ун-ту. — 2015.— Вип. 2 (78).— С. 165-171.
3. *Шульц Р.В.* Аналіз методів та моделей калібрування наземних лазерних сканерів / Р. В. Шульц // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. — 2011. — вип.ІІ.— С. 128-133.
4. *Шульц Р.В.* Теорія і практика використання наземного лазерного сканування в задачах інженерної геодезії : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра. техн. наук : 05.24.01 «Геодезія, фотограмметрія та картографія» / Р.В. Шульц. - Київ : КНУБА, 2012 р. — 36 с.
5. *Bae, K.* On-site self-calibration using planar features for terrestrial laser scanners / K. Bae, D. Lichti // The international Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36 (Part 3/W52) (12-14 Sep. 2007). — Espoo, Finland : 2007. — P. 14-19.
6. *Beder, C.* Direct solution for computing cylinders from minimal set of 3D points / C. Beder, W. Foerstner. // 9th European Conference of Computer Vision: Computer Vision – ECCV 2006 (7-13 May 2006). — Graz, Austria: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. — P. 135-146.
7. *Chan, T.* Cylinder-based self-calibration of a panoramic terrestrial laser scanner / T. Chan, D. Lichti. // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B5, 2012, XXII ISPRS Congress, (25 August – 01 September 2012). - Melbourne, Australia.: Melbourne, 2012. — P. 169-174.
8. *Chow, J.* Point-based versus plane-based self-calibration of static terrestrial laser scanners / J. Chow, D.D. Lichti, C. Glennie // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-5/W12, 2011, ISPRS Calgary 2011 Workshop (29-31 August 2011). - Calgary, Canada : Calgary, 2011. — P. 121-126.
9. *Cuartero A.* Error Analysis of Terrestrial Laser Scanning Data by Means of Spherical Statistics and 3D Graphs [Електронний ресурс] / A. Cuartero, J. Armesto, P. Rodriguez, P. Arias // SENSORS. — 2010. — № 10. — P. 10128-10145. — Режим доступу: <http://www.mdpi.com/1424-8220/10/11/10128>
10. *Foerstner, W.* «Mathematical concepts in photogrammetry» / W. Förstner, B. Wrobel // In: Manual of Photogrammetry, 5th ed. J.C. McGlone / Bethesda, MD, USA: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 2006. — 1151 p.
11. *Gruen, A.* Calibration and Orientation of Cameras in Computer Vision / A.

Gruen, T. S. Huang. — New York, Springer Science & Business Media, 2001. — P. 163-164.

12. *Lichtblau D.* Cylinder through five points: Computational algebra and geometry. / D. Lichtblau // Journal of Mathematics Research. - 2012. - Vol. 4, No. 6. - P. 65-82. doi:10.5539/jmr.v4n6p65.

13. *Lichti, D.* Experiences with terrestrial laser scanner modelling and accuracy assessment / D.D. Lichti, M.G. Licht // The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36 (Part 5) (Sep 25-27 2006). — Dresden, Germany: Dresren, 2006. — P. 155-160.

14. *Lichti, D.* Modelling, calibration and analysis of an AM-CW terrestrial laser scanner / D. Lichti // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. — 2007. - 61 (5). - P. 307-324.

15. *Lichti, D.* Self-Calibration and Analysis of the Surphaser 25HS 3D Scanner / D. Lichti, S. Brustle, J. Franke // Proceedings of the Strategic Integration of Surveying Services, FIG Working Week, (13–17 May 2007). - Hong Kong, China: Hong Kong, 2007. — P. 31-44.

16. *Miri, M.* Evaluating parameters affecting the georeferencing accuracy of terrestrial laser scanners / M. Miri, M. Varshosaz // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-5/W16, 2011 ISPRS Trento 2011 Workshop, (2-4 March 2011). - Trento, Italy: Trento, 2011 — P. 387-390.

17. *Reshetyuk, Y.* Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning : Doctoral thesis in Infrastructure : Geodesy / Y. Reshetyuk. - Stockholm: Royal Institute of Technology (KTH), Department of Transport and Economics, Division of Geodesy, 2009. — 173 c.

18. *Schultz, T.* Calibration of a Terrestrial Laser Scanner for Engineering Geodesy: Dissertation for the degree of Doctor of Sciences / T. Schultz. — Zurich : ETH Zurich, 2007. — 172 p.

19. *Zsombor-Murray, P.* A cilinder of revolution on 5 points / P. Zsombor-Murray, S. El Fashny // Journal for Geometry and Graphics. - 2006. – Vol. 10. – No.2. — P. 207-213.

REFERENCES

1. Seredovich, V.A., Komissarov, A.V., Komissarov, D.V., & Shyroкова, T.A. (2009). *Nazemnoie lazernoie skanirovaniye: monografiya [Terrestrial laser scanning]*. Novosibirsk, SGGA [in Russian].

2. Sossa, B.R. (2015). Porivnialne ociniuvannia tochnosti koordynat tochkovykh marok, otrymanykh sposobom nazemnogo lazernoho skanuvannia [Comparative estimation of the accuracy of point-based targets coordinates, obtained with terrestrial laser scanning]. *Visnyk Chernihivskoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu – The Chernihiv State Technologies University Herald*, 2 (78), 165-171 [in Ukrainian]

3. Schultz, R.V. (2011). Analiz metodiv ta modelei kalibruvannia nazemnykh lazernykh skaneriv [Analysis of terrestrial laser scanners calibration methods and models]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnyctva [Modern achievements of geodetic study and production]*.— Vol.II. — 128-133 [in Ukrainian].

4. Schultz, R.V. (2012). Teoriia i praktyka vykorystannia nazemnoho lazernoho skanuvannia v zadachakh inzhenernoi heodezii [Theory and practice of using terrestrial laser scanning in tasks of engineering geodesy]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kyiv: KNUCA [in Ukrainian].
5. Bae, K. & Lichti D. (2007). On-site self-calibration using planar features for terrestrial laser scanners. *The international Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36 (Part 3/W52)*. (pp. 14-19) — Espoo, Finland.
6. Beder, C. & Foerstner W. (2006). Direct solution for computing cylinders from minimal set of 3D points. *9th European Conference of Computer Vision: Computer Vision – ECCV 2006* (pp. 135-146). Graz, Austria: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
7. Chan, T. & Lichti D. (2012). Cylinder-based self-calibration of a panoramic terrestrial laser scanner. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXIX-B5, 2012, XXII ISPRS Congress* (pp. 169-174). Melbourne, Australia: Melbourne.
8. Chow, J., Lichti D.D. & Glennie C. (2011). Point-based versus plane-based self-calibration of static terrestrial laser scanners. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVIII-5/W12, 2011, ISPRS Calgary 2011 Workshop*. (pp. 121-126). Calgary, Canada : Calgary.
9. Cuartero, A., Armesto, J., Rodriguez, P., & Arias, P. (2010). Error Analysis of Terrestrial Laser Scanning Data by Means of Spherical Statistics and 3D Graphs. *SENSORS*. № 10. 10128-10145. Retrieved from <http://www.mdpi.com/1424-8220/10/11/10128>
10. Foerstner, W. & Wrobel B. (2006). "Mathematical concepts in photogrammetry." *Manual of Photogrammetry, 5th ed.*, (1151 p.). Bethesda, MD, USA: American Society of Photogrammetry and Remote Sensing.
11. Gruen, A. & Huang T.S. (2001). *Calibration and Orientation of Cameras in Computer Vision*. (pp. 163-164). New York: Springer Science & Business Media.
12. Lichtblau D. (2012). Cylinder through five points: Computational algebra and geometry. *Journal of Mathematics Research*, Vol. 4, No. 6, 65-82. doi:10.5539/jmr.v4n6p65.
13. Lichti, D. & Licht, M.D. (2006). Experiences with terrestrial laser scanner modelling and accuracy assessment. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36 (Part 5)* (pp. 155-160). Dresden, Germany : Dresden.
14. Lichti, D. (2007). Modelling, calibration and analysis of an AM-CW terrestrial laser scanner. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 61 (5), 307-324.
15. Lichti, D., Brustle, S. & Franke, J. (2007). Self-Calibration and Analysis of the Surphaser 25HS 3D Scanner. *Proceedings of the Strategic Integration of Surveying Services, FIG Working Week*, (pp. 31-44). Hong Kong, China : Hong Kong.
16. Miri, M. & Varshosaz, M. (2011). Evaluating parameters affecting the georeferencing accuracy of terrestrial laser scanners. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-5/W16, 2011 ISPRS Trento 2011 Workshop*, (pp. 387-390). Trento, Italy: Trento.

17. Reshetyuk, Y. (2009). Self-calibration and direct georeferencing in terrestrial laser scanning. *Doctoral thesis in Infrastructure*. Stockholm: Royal Institute of Technology (KTH), Department of Transport and Economics, Division of Geodesy.
18. Schultz, T. (2007). Calibration of a Terrestrial Laser Scanner for Engineering Geodesy. *Doctor's thesis*. Zurich: ETH Zurich.
19. Zsombor-Murray, P. & El Fashny, S. (2006). A cylinder of revolution on 5 points. *Journal for Geometry and Graphics*, Vol. 10, 2006, No.2, 207-213.

Б.Р. Сосса

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ТИПА И РАЗМЕРА
ПЛОСКОСТНЫХ МАРОК, КОТОРЫЕ ИСПОЛЬЗУЮТСЯ ПРИ
КАЛИБРОВКЕ НАЗЕМНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СКАНЕРОВ**

Современные исследования методов калибровки НЛС проводятся в помещениях и ограничены по расстоянию. В статье рассмотрено применение плоских и цилиндрических плоскостных, а также сферических марок или тестовых калибровочных объектов при калибровке наземных лазерных сканеров на всех диапазонах измеряемых расстояний. Исследованы минимально допустимые размеры марок для однозначного определения поверхностей на расстояниях до 350 м. Доказано, что для проведения калибровки на больших расстояниях нецелесообразно использовать цилиндрические марки и сферические марки стандартных размеров. Зато целесообразно использовать плоские плоскостные марки и сферические марки увеличенного размера.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, калибровка сканеров, сферические марки, цилиндрические марки, плоские плоскостные марки, тестовые объекты калибровки.

B. Sossa

**DETERMINATION OF OPTIMAL TYPE AND SIZE OF PLANE-BASED
TARGETS USING IN TERRESTRIAL LASER SCANNERS CALIBRATION**

Terrestrial laser scanners are widely using in modern surveying, including engineering geodesy tasks. One of the way to improve the accuracy of TLS is calibration. There are number of calibration investigations using different types of calibration targets. But most of them are made indoor, that means they are using quite short distances, despite there are math models of long-range calibration polygons.

It was determined the most modern TLS's average maximal range (350 m) and resolution (2 mm at 10 m) as a subject of study. Flat and cylindrical plane-based as well as spherical targets are reviewed in this issue corresponding to calibration ability through the all range of modern TLS's measured distances. The minimum sets of points for appropriate surface unambiguous determining are investigated and minimal permissible targets size are determined. The minimum sets of points are compared with standard shapes using for TLS calibration.

It was proven that it's advisable to use flat plane-based and larger spherical targets for long-range (up to 350 m) calibration while using cylindrical and standard

spherical targets is possible for shorter distances (up to 150-200 m). Obviously, that using TLS with better resolution, the distance for minimal points set will increase pro rata.

Key words: *terrestrial laser scanning, scanners calibration, spherical targets, cylindrical targets, plane-based targets, test calibration objects.*

Надійшла до редакції

05.04.2018

УДК 517

О.М. Гончерюк, аспірант кафедри інженерної геодезії
Київський національний університет будівництва і архітектури

МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ПОПЕРЕДНЬОГО РОЗРАХУНКУ ТОЧНОСТІ ФОТОГРАММЕТРИЧНИХ МОДЕЛЕЙ, СТВОРЕНИХ ЗА ДАНИМИ LOW-COST ФОТОГРАММЕТРІЇ

У роботі наведено методику виконання попереднього розрахунку точності фотограмметричних вимірювань з використанням цифрових камер, якими обладнані сучасні смартфони. Розглянуто основні аналітичні залежності цифрової фотограмметрії для прямої фотограмметричної засічки. Виконано аналіз основних джерел похибок цифрових неметричних камер. Розглянуто питання розрахунку точності вимірювань на цифровому знімку з врахуванням похибок дискретизації цифрового зображення, наведення, роздільної здатності та розфокусування. Для розрахунків були використані типові параметри цифрових камер сучасних смартфонів. Використовуючи отримані сумарні похибки, виконано розрахунок точності створення фотограмметричних моделей за формулами прямої фотограмметричної засічки. Наведено вирази для розрахунку впливу похибок кутових елементів знімків та похибок координат центрів фотографування. Виконано попередній розрахунок точності для екстремальних значень кутів розвороту цифрових знімків. Результати розрахунку дозволяють зробити висновки, що за найбільш несприятливих умов камери сучасних смартфонів дають змогу створювати тривимірні моделі з просторовою точністю, не гіршою за 5 см, для відстаней до 20 метрів для конвергентного знімання. Встановлено, що підвищити точність визначення координат можна шляхом підбору вдалої геометрії фотографування та використання кодових марок для орієнтування знімків.

Ключові слова: цифрова фотограмметрія, неметрична камера, low-cost фотограмметрія, попередній розрахунок точності, пряма фотограмметрична засічка.

Вступ. Завданням цифрової фотограмметрії є вирішення завдань геодезії засобами фотограмметрії на базі використання 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. З моменту появи цифрових технологій їх застосування у завданнях фотограмметрії значно розширило можливості останньої. З'явилась можливість в режимі реального часу контролювати якість отриманих фотографічних матеріалів, відпала потреба у фотохімічному процесі, а оперативність оброблення даних зросла в рази. Цифрові технології зумовили появу абсолютно 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 інтегруються безпосередньо до систем автоматизованого проектування та геоінформаційних систем для подальшого оброблення, проектування та створення комплексної інформаційної продукції більш високого рівня.

Прогрес у сфері цифрових технологій сприяв появі окремого напрямку цифрової фотограмметрії, що дістав назву low-cost фотограмметрії. Засоби отримання зображень low-cost фотограмметрії не мають безпосереднього відношення до фотограмметрії, скоріше це спроба адаптувати технології однієї галузі до іншої. Загалом як джерело інформації low-cost фотограмметрія використовує цифрові зображення, отримані зі смартфонів і планшетів для вирішення сучасних завдань фотограмметрії. У такій ситуації питання точності кінцевого продукту залишається відкритим. Особливо актуальним є питання попереднього розрахунку, оскільки технології low-cost фотограмметрії постійно змінюються через удосконалення фотографічних і навігаційних сенсорів у смартфонах і планшетах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Якщо розглядати питання попереднього розрахунку точності загалом, то вперше детальне дослідження точності саме прикладної фотограмметрії було виконане в роботах проф. В.М. Сердюкова [6; 7]. У цих роботах виконано детальний аналіз точності фотограмметричних вимірювань для випадку використання фототеодолітів. Аналогічні дослідження наведено в роботах [4; 5], у яких значну увагу приділено саме точності фотограмметричних робіт при вирішенні інженерних завдань. Водночас вперше проаналізовано можливості неметричних плівкових камер для виконання інженерних завдань. Додатково слід відмітити роботу [8], в якій питання розглянуто на основі системного підходу. Аналіз у всіх згаданих роботах можна віднести до категорії аналізу аналогових даних. Аналітичний підхід до точності з використанням строгих математичних моделей наведено в роботі [9]. Цілком зрозуміло, що характер та закони виникнення і розподілу похибок для цифрових зображень будуть іншими. Достатньо детальний аналіз таких похибок наведено у працях [1-3]. Тож питання адаптування відомих методик попереднього розрахунку точності з огляду на особливості цифрових неметричних зображень є вкрай актуальним.

Мета роботи. Метою роботи є розроблення методики виконання попереднього розрахунку точності фотограмметричних моделей, створених за даними low-cost фотограмметрії.

Виклад основного матеріалу. Перш за все наведемо основні математичні залежності, що будуть у подальшому використані для попереднього розрахунку точності. Для вимірювання координат на знімку використовують або цифрову систему координат, або систему координат знімка. У подальших обчисленнях в будь-якому випадку використовують фотокоординати в системі координат знімка. Зв'язок між цифровою системою координат і системою координат знімка представлено на рис. 1.

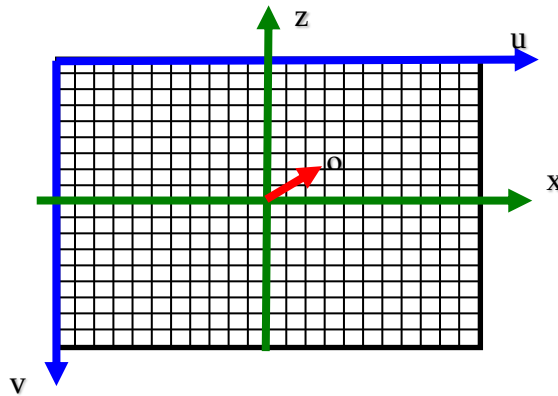


Рис. 1. Зв'язок між системами координат на знімку

Аналітично зв'язок між пікельною системою координат і знімка представляють виразами:

$$x = \left(u - \frac{n_u}{2}\right) \cdot p_x + x_0, \quad z = \left(\frac{n_v}{2} - v\right) \cdot p_z + z_0, \quad (1)$$

де n_u - кількість стовпчиків; n_v - кількість рядків; x_0, z_0 - координати головної точки; x, u, z, v - координати точки в системі координат знімка і пікельній системі відповідно, p_x, p_z - розмір пікселя.

Координати точки Р визначають за формулами прямої фотограмметричної засічки [9]:

$$X_P = X_{S_L} + Nr_l^X; \quad Y_P = Y_{S_L} + Nr_l^Y; \quad Z_P = Z_{S_L} + Nr_l^Z; \quad N = \frac{B_x r_r^Y - B_y r_r^X}{r_l^X r_r^Y - r_l^Y r_r^X}. \quad (2)$$

Визначають координати безпосередньо за координатами центрів фотографування у разі використання цифрових неметричних камер за формулами [9]:

$$X_P = X_{S_L} + Nr_l^X; \quad Y_P = Y_{S_L} + Nr_l^Y; \quad Z_P = Z_{S_L} + Nr_l^Z$$

$$N = \frac{(X_{S_R} - X_{S_L})r_r^Y - (Y_{S_R} - Y_{S_L})r_r^X}{r_l^X r_r^Y - r_l^Y r_r^X} \quad (3)$$

У виразах (2) і (3) значення векторів попередньо трансформовані за кутами зовнішнього орієнтування:

$$r_l = A_L r; \quad r_r = A_R r'. \quad (4)$$

Ці вирази містять такі позначення:

$$r_l = (x \quad f \quad z)^T; \quad r_r = (x' \quad f \quad z')^T - \text{виміряні координати точки на лівому і правому знімках};$$

$$A = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix} - \text{матриця напрямних косинусів};$$

$$a_1 = \cos \alpha \cos \kappa - \sin \alpha \sin \omega \sin \kappa; a_2 = \sin \alpha \cos \omega; a_3 = -\cos \alpha \sin \kappa - \sin \alpha \sin \omega \cos \kappa;$$

$$b_1 = -\sin \alpha \cos \kappa - \cos \alpha \sin \omega \sin \kappa; b_2 = \cos \alpha \cos \omega; b_3 = \sin \alpha \sin \kappa - \cos \alpha \sin \omega \cos \kappa$$

$$c_1 = \cos \omega \sin \kappa; c_2 = \sin \omega; c_3 = \cos \omega \cos \kappa - \text{напрямні косинуси.}$$

Наведені вирази дають змогу обчислити координати точок в будь-якій системі координат за будь-якого методу фотографування. Ці вирази використаємо для отримання виразів для попереднього розрахунку точності.

За цими виразами неможливо визначити окремо вплив кожної складової на повну точність. В такому разі найбільш вдалим є використання формул прямої фотограмметричної засічки і від них перехід до середніх квадратичних похибок.

Точність визначення координат залежить насамперед від точності вимірювання координат точок на знімку. При цьому до точності вимірювання входять похибки дисторсії об'єктива, роздільної здатності, розфокусування, дискретизації та інші. Тому необхідним є моделювання похибок вимірювання координат точок на знімку. Мета моделювання похибок вимірювання цифрового зображення – встановлення можливості використання недорогої цифрової знімальної апаратури. Можливість використання камер сучасних смартфонів і планшетів зумовлена декількома важливими факторами:

- невеликі відстані, на яких виконується знімання (практично не перевищують 30 метрів);
- виконанням калібрування параметрів внутрішнього орієнтування під час виконання робіт завдяки використанню самокалібрування.

Для виконання точного знімання необхідно врахувати всі похибки, що впливають на його точність. Розглянемо основні похибки знімання, викликані недосконалою фотографічною апаратурою.

Перш за все відмітимо, що цифрові зображення місцевості [1], отримані під час знімання, мають особливості, які визначаються дискретно-чарунковою структурою. Як зазначено в роботі [3], координати точкового об'єкта на цифровому зображенні – це рівномірно розміщені в середині чотирьох сусідніх пікселів випадкові величини, що мають СКП відповідно до [1]:

$$m_x = k/\sqrt{3}; \quad m_z = l/\sqrt{3}, \quad (5)$$

де k і l – розміри пікселя.

Очевидно, що СКП визначення координат точкового об'єкта на цифровому знімку, зумовлена впливом дискретизації, залежить тільки від розмірів пікселя. Похибка визначення взаємного місцеположення залежить від розміру пікселя і його форми, напрямку на знімку та величини відстані між точками. За квадратного пікселя точність лінійно залежить тільки від розмірів пікселя і подається такою залежністю:

$$m_{xz} = \frac{2}{3} m. \quad (6)$$

За умови, що після орієнтування знімків вони можуть бути трансформовані до нормального випадку знімання, з'являється можливість високоточного стереоскопічного вимірювання координат точок на знімках. Стереоскопічне візування супроводжується неминучими випадковими та систематичними похибками, які зумовлені вимірювальним пристроєм, знімками, спостерігачем та типом об'єкта. Якість і детальність зображення цифрового дискретного знімка визначається розміром пікселя. В роботі [3] вказано, що точність стереоскопічного візування залежить від таких факторів: похибка стереоскопічного наведення та похибка дискретного пересування марки-курсору.

Вважають, що спостерігач сприймає несуміщення вимірювальної марки з поверхнею стереомоделі, якщо воно перевищує поріг стереосприйняття глибини. Та якщо прийняти, що випадкові похибки стереоскопічного наведення маркою на модель зумовлені гостротою стереозору, підпорядковуються нормальному розподілу, то похибка визначається формулою [3]:

$$m_n = \frac{1}{3} L_d v_s k \frac{pix_c}{pix_d}, \quad (7)$$

де pix_c - розмір пікселя на знімку; pix_d - розмір пікселя монітора; v_s - гострота стереозору в радіанах (30"); L_d - відстань спостереження зображень на моніторі в 2-3 рази більша за відстань найкращого зору; k - коефіцієнт збільшення сприйняття глибини внаслідок спостереження на миготливому моніторі.

Похибку, зумовлену дискретним пересуванням марки-курсору у теоретичних розрахунках приймають рівною половині похибки вимірювання координат точкового об'єкта на знімку:

$$m_o = 0,5 \cdot k(l)/\sqrt{3}. \quad (8)$$

У табл. 1 наведемо основні, на наш погляд, типи цифрових камер сучасних смартфонів.

Таблиця 1

Параметри цифрових камер

Камера	Розмір пікселя, мкм	Фокусна відстань, мм	Матриця	Фізичний розмір матриці, мм	Відносний отвір об'єктива D/f
камера 1	1,12	5	4208x3802	4,71x4,26	1:2,0
камера 2	1,25	4	4208x3802	5,26x4,75	1:1,4
камера 3	1,3	4	4208x3120	5,47x4,06	1:2,2
камера 4	1,4	3	4032x3024	5,64x4,23	1:1,8

Певною мірою наведені характеристики є дещо умовними, але вони дають загальне уявлення про основні параметри цифрових камер та дають змогу виконати розрахунок точності вимірювань.

Дослідимо похибки вимірювання координат, зумовлені перш за все особливостями цифрових камер. Всі джерела похибок вимірювання координат на знімку можна розділити на чотири групи: похибки геометричного спотворення

зображення, похибки дискретизації зображення, похибки розфокусування, похибки роздільної здатності.

Похибки вимірювання координат точок для названих камер, викликані впливом дискретизації зображень, а також похибки вимірювання взаємного положення точок представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Похибки вимірювання координат точок, викликані впливом дискретизації зображень

Камера	m_x, m_z , мкм	m_{xz} , мкм
камера 1	0,65	0,75
камера 2	0,72	0,83
камера 3	0,75	0,87
камера 4	0,81	0,93

Похибка стереоскопічного наведення є іншою складовою дискретизації вимірювання й особливо впливає на якість вимірювання відстані до об'єкта. Для обчислення цієї похибки візьмемо вихідні дані: розмір пікселя монітора - 72; гострота стереозору в радіанах - 30"; відстань спостереження зображень на моніторі – 625 мм; коефіцієнт збільшення сприйняття глибини внаслідок спостереження на миготливому моніторі – найчастіше беруть 1,4 (табл. 3).

Таблиця 3

Похибка стереоскопічного наведення

Камера	m_s , мкм
камера 1	0,66
камера 2	0,74
камера 3	0,76
камера 4	0,82

Похибку, зумовлену дискретним пересуванням марки-курсору (табл. 4) отримаємо з табл. 2, прийнявши, що похибка зумовлена дискретним пересуванням марки-курсору, в теоретичних розрахунках беруть рівною половині похибки вимірювання координат точкового об'єкта на знімку.

Таблиця 4

Похибка, зумовлена дискретним пересуванням марки-курсору

Камера	m_m , мкм
камера 1	0,32
камера 2	0,36
камера 3	0,38
камера 4	0,40

Сумарні похибки, викликані вимірюванням по дискретному зображенню, будуть мати такі значення (табл. 5).

Таблиця 5

Сумарні похибки, викликані вимірюванням по дискретному зображенню

Камера	m_d , мкм
камера 1	1,05
камера 2	1,17

Закінчення табл. 5

камера 3	1,21
камера 4	1,31

Для розрахунку похибки роздільної здатності скористаємося наступним виразом:

$$\Delta\gamma = 2 \times 1,22 \times f \times \lambda,$$

де f - знаменник відносного отвору; λ - довжина хвилі світла.

Для обчислення похибок візьмемо базис фотографування $B=3$ м.

Зазначимо, що похибка роздільної здатності стереовизначень обчислюється за формулами:

$$m_Y = \frac{Y^2 \Delta\gamma}{B}, \quad m_{X,Z} = Y \Delta\gamma, \quad m_Y = \frac{m_{X,Z} \times Y}{B}.$$

Графічно похибку роздільної здатності на місцевості представлено на рис. 2 -3.

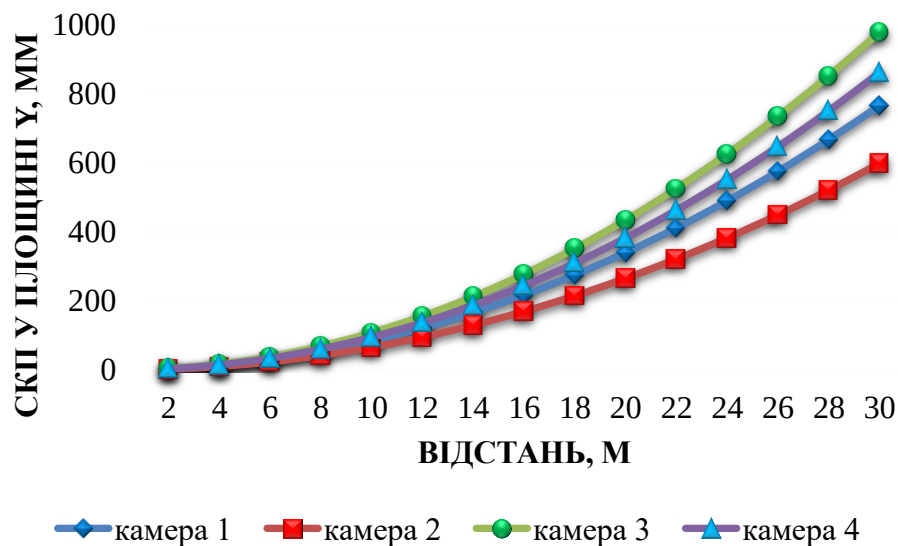


Рис. 2. Графіки похибок роздільної здатності вздовж осі Y

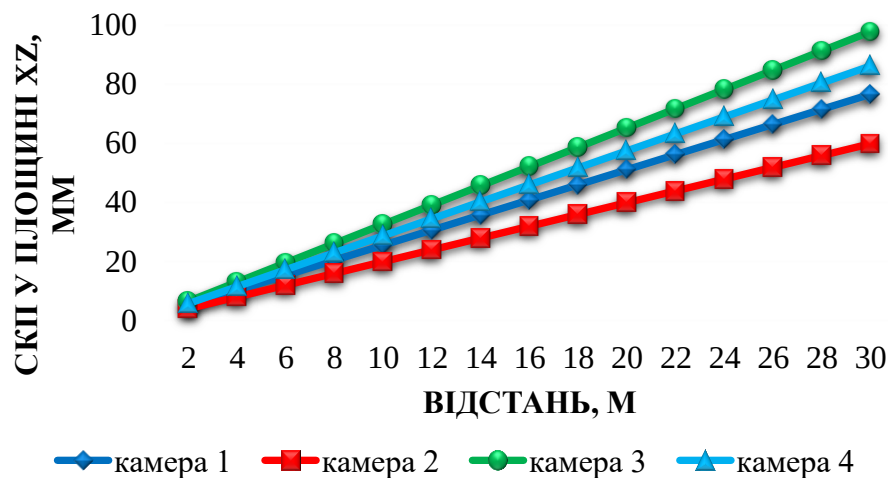


Рис. 3. Графіки похибок роздільної здатності вздовж осей X, Z

Щодо наведених розрахунків і графіків, то слід пам'ятати, що прийнято роздільну здатність ПЗЗ-матриці, а системі ПЗЗ – «матриця-об'єктив». Практично можливим є використання об'єктивів, що не спотворюватимуть роздільну здатність. З другого боку, у разі вимірювання точок більш ніж за двома знімками вплив роздільної здатності послаблюється, а за використання маркованих точок, розмір яких становить приблизно 5х5 пікселів на знімку вплив роздільної здатності послаблюється в декілька разів.

Тобто в практичних розрахунках за умови використання якісного об'єктива величину похибки роздільної здатності можна прийняти рівною величині пікселя ПЗЗ-матриці з коефіцієнтом збільшення приблизно 1,5-2.

Для обчислення похибки розфокусування використаємо головне рівняння геометричної оптики $\frac{1}{F} = \frac{1}{L} + \frac{1}{Y}$, з якого знайдемо L :

$$L = Y \times F / Y - F; \delta = L - F; \Delta F = D \times \delta / f;$$

$$m_{X,Z(F)} = \Delta F \times Y / F; \quad m_{Y(F)} = m_{X,Z(F)} \times Y / B. \quad (9)$$

За виразами (9) обчислимо величину похибки розфокусування для різних відстаней Y . Графічно похибку розфокусування на місцевості представлено на рис. 4.

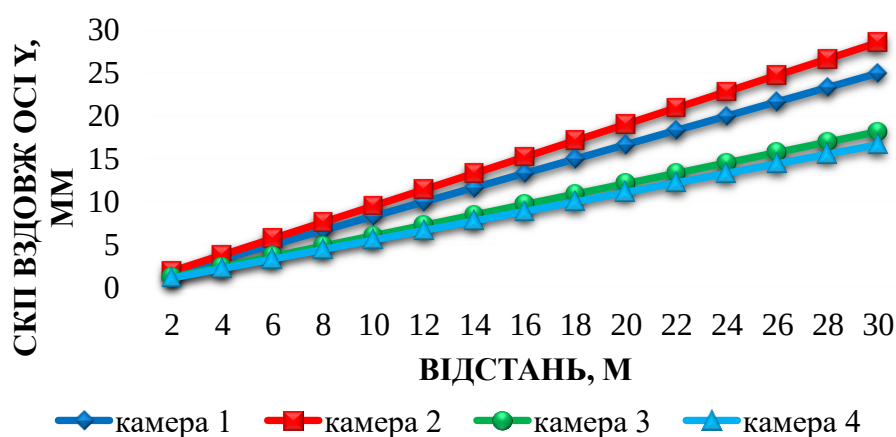


Рис. 4. Графіки похибок розфокусування вздовж осі Y

Слід мати на увазі, що стереоскопічні спостереження підвищують точність розпізнавання точок на знімку, тож фактична похибка, викликана нечіткістю зображення та роздільною здатністю, буде приблизно в два рази меншою. Теоретично для підвищення точності стереовимірювань потрібно використовувати фотокамери з великим фокусом і тим самим зменшувати величину кута поля зору і глибину різкості простору, що для камер у смартфонах фізично реалізувати неможливо.

За отриманими розрахунками обчислимо похибку вимірювання координат та паралаксів на знімку за різних відстаней фотографування для обраних нами камер (табл. 6).

Таблиця 6

Сумарний вплив похибок вимірювань на цифрових знімках

Y, м	2	10	20	30	2	10	20	30
	m_x, m_z , мкм				m_p , мкм			
камера 1	8	5.2	5.0	5.0	11.2	7.3	7.0	7.0
камера 2	7.3	4.6	4.5	4.5	10.2	6.4	6.3	6.3
камера 3	5.6	4.3	4.2	4.2	7.8	6.0	5.9	5.9
камера 4	4.4	3.6	3.6	3.6	6.2	5.0	5.0	5.0

Дані табл. 6 є вихідними для обчислення точності знімання.

Відповідно до виразу (3) визначимо вираз для розрахунку впливу похибок кутових елементів зовнішнього орієнтування та похибок координат точок на знімку [9]. Загальний вираз має такий вигляд:

$$M_m = M_\theta + M_\delta, \quad (10)$$

де M_θ – коваріаційна матриця похибок кутових елементів; M_δ – коваріаційна матриця похибок координат на знімку.

Графічно утворення похибки визначення координат точки фотографічним методом за парою знімків представлено на рис. 5.

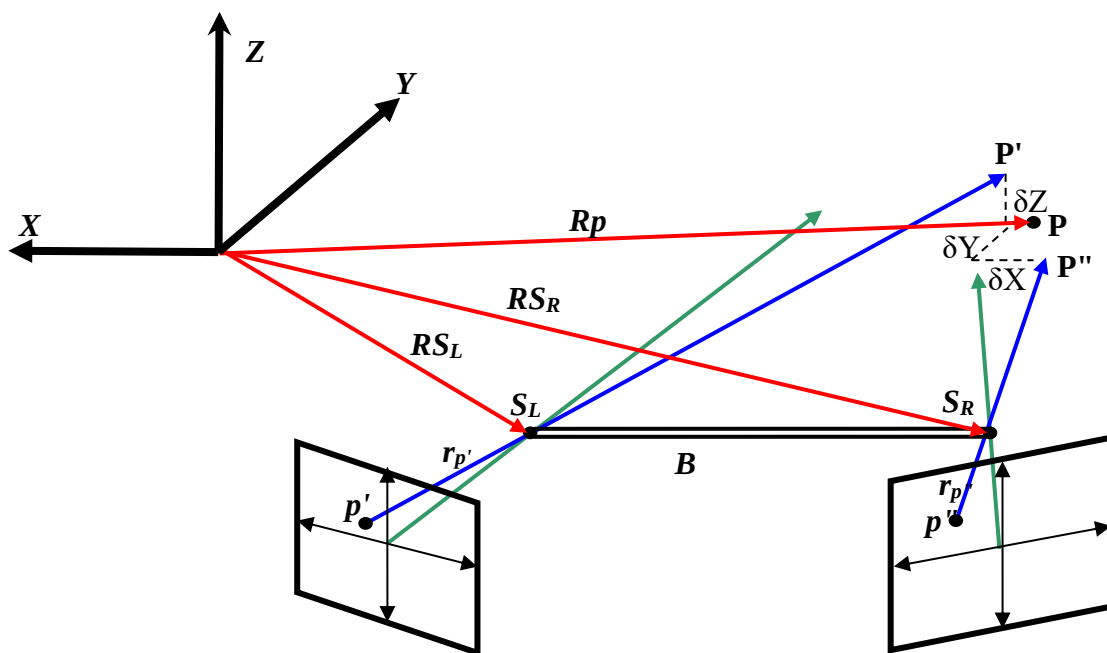


Рис. 5. Похибки прямої фотограмметричної засічки

Відповідно до позначень матрицю M_θ обчислюють так [9]:

$$M_\theta = F_{L,R} M_\alpha F_{L,R}^T, \quad (11)$$

де $F_{L,R}$ – матриця частинних похідних від виразу $A_{L,R}^r$;

$M_\alpha = \text{diag}(m_\alpha^2 \quad m_\omega^2 \quad m_\kappa^2)$ – діагональна матриця похибок кутових елементів.

$$M_\delta = A_{L,R} M_n A_{L,R}^T. \quad (12)$$

Матриця M_n – також діагональна матриця похибок, $M_n = \text{diag}(m_x^2 \quad m_f^2 \quad m_z^2)$. В матриці M_n середні квадратичні похибки є результатом сумарного впливу похибок визначення елементів внутрішнього орієнтування, залишкової дисторсії та дефектів цифрової матриці.

$$\left. \begin{aligned} m_x^2 &= m_{x_0}^2 + m_r^2 + m_t^2 + m_a^2 \\ m_z^2 &= m_{z_0}^2 + m_r^2 + m_t^2 + m_a^2 \\ m_f^2 & \end{aligned} \right\}, \quad (13)$$

де m_{x_0}, m_{z_0} – похибки визначення головної точки; m_r – похибка визначення радіальної дисторсії; m_t – похибка визначення тангенціальної дисторсії; m_a – похибка визначення дефектів цифрової матриці. Якщо калібрування виконується поліноміальними функціями без врахування фізичного змісту спотворень на зображенні, то за похибки вимірювання координат беруть похибки калібрування.

Звернімося до виразів (2). Відповідно до цих виразів нам треба врахувати похибки визначення координат на лівому і правому знімках, похибки визначення базису фотографування та похибки визначення координат центрів фотографування.

$$M = M_{S_L} + M_{r_l} + M_{r_r} + M_B, \quad (14)$$

де M_{S_L} – коваріаційна матриця похибок визначення координат лівого центра фотографування; M_{r_l} – коваріаційна матриця похибок визначення координат точки на лівому знімку; M_{r_r} – коваріаційна матриця похибок визначення координат точки на правому знімку; M_B – коваріаційна матриця похибок визначення базису фотографування.

Запис у вигляді рівності (14) – найбільш придатний для фототеодолітного знімання та знімання з використанням фототахеометрів, коли вимірюють базис фотографування та його складові по координатних осях. Для випадку фотографування звичайною цифровою неметричною камерою смартфона, коли обчислення ведуть безпосередньо через координати центра фотографування, вираз для обчислення похибок є таким:

$$M = M_{S_L} + M_{S_R} + M_{r_l} + M_{r_r}, \quad (15)$$

де M_{S_R} – коваріаційна матриця похибок визначення координат правого центра фотографування.

Тепер послідовно визначимо кожну матрицю похибок, при цьому ми вважаємо, що знімки приведено до нормального випадку і вплив кутових елементів враховано в матриці M_m .

Коваріаційна матриця похибок визначення координат точки на лівому знімку.

Взявши частинні похідні від виразів (2) та використавши правило перетворення коваріацій, отримаємо:

$$M_{r_l} = C_l M_m C_l^T, \quad (16)$$

де C_l – матриця частинних похідних.

$$C_l = \begin{pmatrix} \frac{B_X r_r^Y - B_Y r_r^X}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} - \frac{r_l^X r_r^Y (B_X r_r^Y - B_Y r_r^X)}{(r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y)^2} & \frac{r_l^X r_r^X (B_X r_r^Y - B_Y r_r^X)}{(r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y)^2} & 0 \\ \frac{r_l^Y r_r^Y (B_X r_r^Y - B_Y r_r^X)}{(r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y)^2} & \frac{B_X r_r^Y - B_Y r_r^X}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} + \frac{r_r^X r_l^Y (B_X r_r^Y - B_Y r_r^X)}{(r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y)^2} & 0 \\ \frac{r_l^Z r_r^Y (B_X r_r^Y - B_Y r_r^X)}{(r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y)^2} & \frac{r_l^Z r_r^X (B_X r_r^Y - B_Y r_r^X)}{(r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y)^2} & \frac{B_X r_r^Y - B_Y r_r^X}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} \end{pmatrix}$$

Коваріаційна матриця похибок визначення координат точки на правому знімку.

Взявши частинні похідні від виразів (2) та використавши правило перетворення коваріацій отримаємо:

$$M_{r_r} = C_r M_m C_r^T, \quad (17)$$

де C_r – матриця частинних похідних.

$$C_r = \begin{pmatrix} -\frac{B_Y r_l^X}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & \frac{B_X r_l^X}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & 0 \\ -\frac{B_Y r_l^Y}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & \frac{B_X r_l^Y}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & 0 \\ -\frac{B_Y r_l^Z}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & \frac{B_X r_l^Z}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & 0 \end{pmatrix}.$$

Коваріаційна матриця похибок визначення базису фотографування

Взявши частинні похідні від виразів (2) та використавши правило перетворення коваріацій, отримаємо:

$$M_B = C_B M_b C_B^T, \quad (18)$$

де C_B – матриця частинних похідних; $M_b = \text{diag}(m_{B_X}^2 \quad m_{B_Y}^2 \quad m_{B_Z}^2)$ – діагональна матриця похибок визначення базису.

$$C_B = \begin{pmatrix} \frac{r_l^X r_r^Y}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & -\frac{r_r^X r_l^X}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & 0 \\ \frac{r_l^Y r_r^Y}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & -\frac{r_r^X r_l^Y}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & 0 \\ \frac{r_l^Z r_r^Y}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & -\frac{r_r^X r_l^Z}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & 0 \end{pmatrix}.$$

Коваріаційна матриця похибок визначення координат лівого центру фотографування

У загальному випадку, коли прилади встановлюють на точки створеної попередньо геодезичної мережі, коваріаційна матриця M_{S_L} має повний вигляд. У розгляданому випадку для розрахунку точності використовують звичайно діагональну матрицю у вигляді рівності:

$$M_{S_L} = \text{diag} \left(m_{S_L^X}^2 \quad m_{S_L^Y}^2 \quad m_{S_L^Z}^2 \right).$$

Для другого варіанта, коли безпосередньо визначають координати центрів фотографування, вирази для обчислення середніх квадратичних похибок будуть такі. Цілком зрозуміло, що вирази для M_{r_l} , M_{r_r} і M_{S_L} будуть мати вигляд аналогічний для першого випадку, зважаючи на те, що проекції базису слід підставити різниці координат лівого і правого центрів фотографування.

Коваріаційна матриця похибок визначення координат лівого центру фотографування

Взявши частинні похідні від виразів (3) та використавши правило перетворення коваріацій, отримаємо:

$$M_{S_L} = C_{S_L} M_S C_{S_L}^T. \quad (19)$$

$$C_{S_L} = \begin{pmatrix} 1 - \frac{r_l^X r_r^Y}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & \frac{r_r^X r_l^X}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & 0 \\ -\frac{r_l^Y r_r^Y}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & 1 + \frac{r_r^X r_l^Y}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & 0 \\ -\frac{r_l^Z r_r^Y}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & \frac{r_r^X r_l^Z}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & 1 \end{pmatrix}.$$

Коваріаційна матриця похибок визначення координат правого центру фотографування

Взявши частинні похідні від виразів (4) та використавши правило перетворення коваріацій, отримаємо:

$$M_{S_R} = C_{S_R} M_S C_{S_R}^T. \quad (20)$$

$$C_{S_R} = \begin{pmatrix} \frac{r_l^X r_r^Y}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & -\frac{r_r^X r_l^X}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & 0 \\ \frac{r_l^Y r_r^Y}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & -\frac{r_r^X r_l^Y}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & 0 \\ \frac{r_l^Z r_r^Y}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & -\frac{r_r^X r_l^Z}{r_l^X r_r^Y - r_r^X r_l^Y} & 0 \end{pmatrix}.$$

За отриманими виразами (15-17), (19-20) виконаємо розрахунок очікуваної точності визначення координат. Результати представимо у графічній формі на рис. 6 – 9.

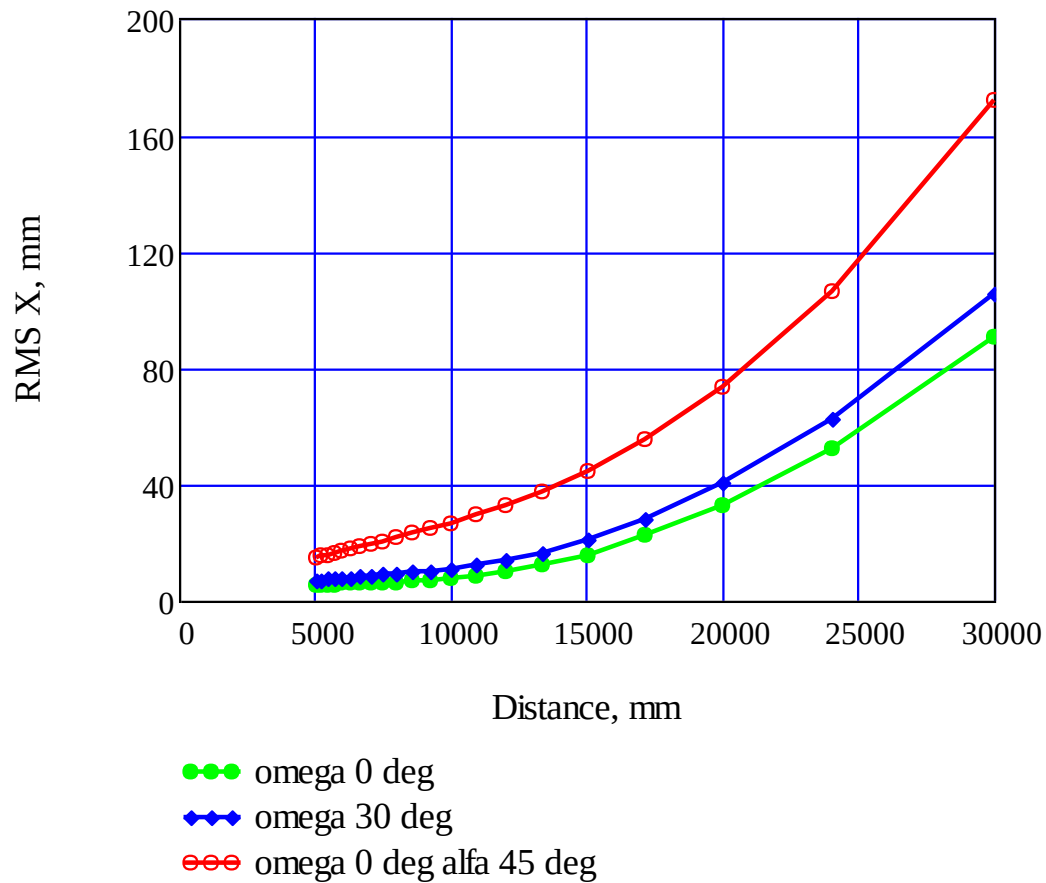


Рис. 6. Графіки похибок вздовж координатної осі X

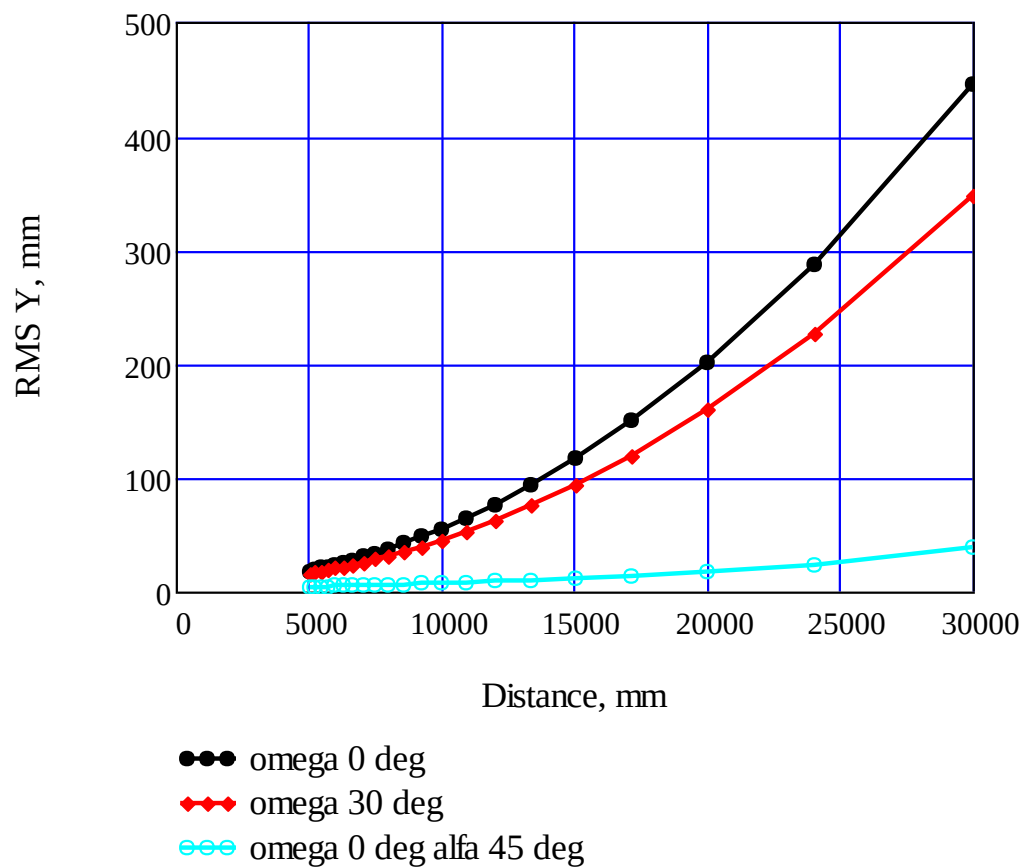


Рис. 7. Графіки похибок вздовж координатної осі Y

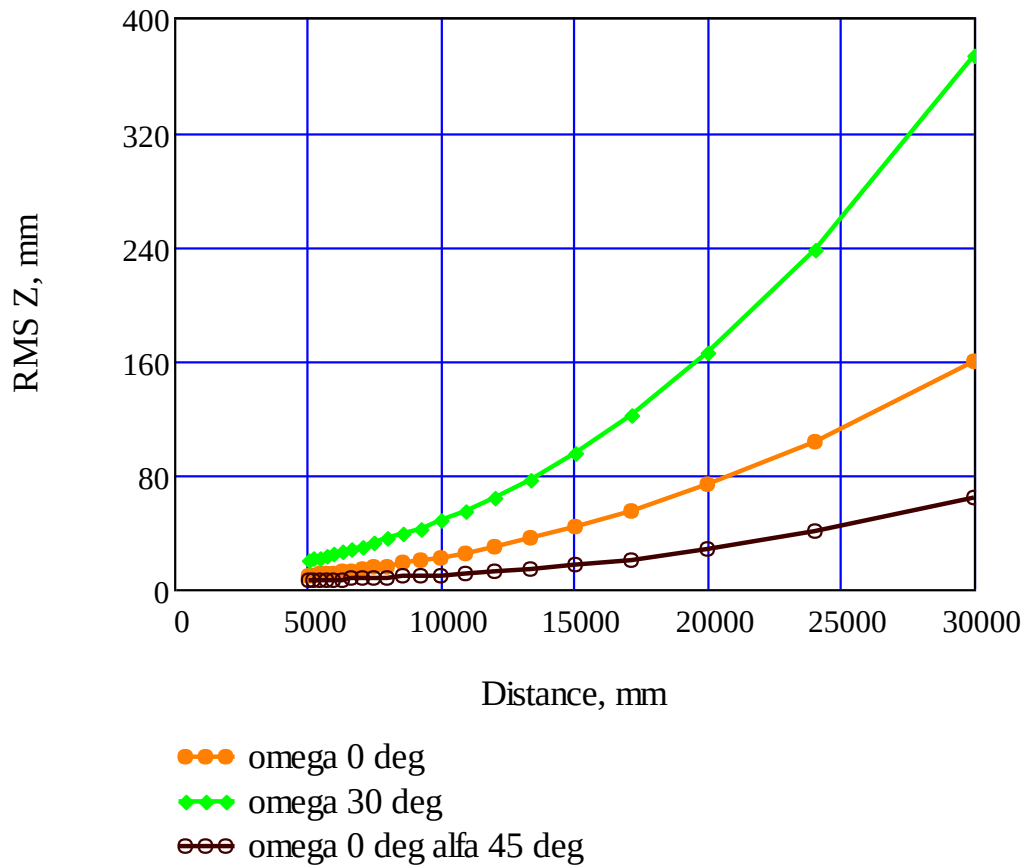


Рис. 8. Графіки похибок вздовж координатної осі Z

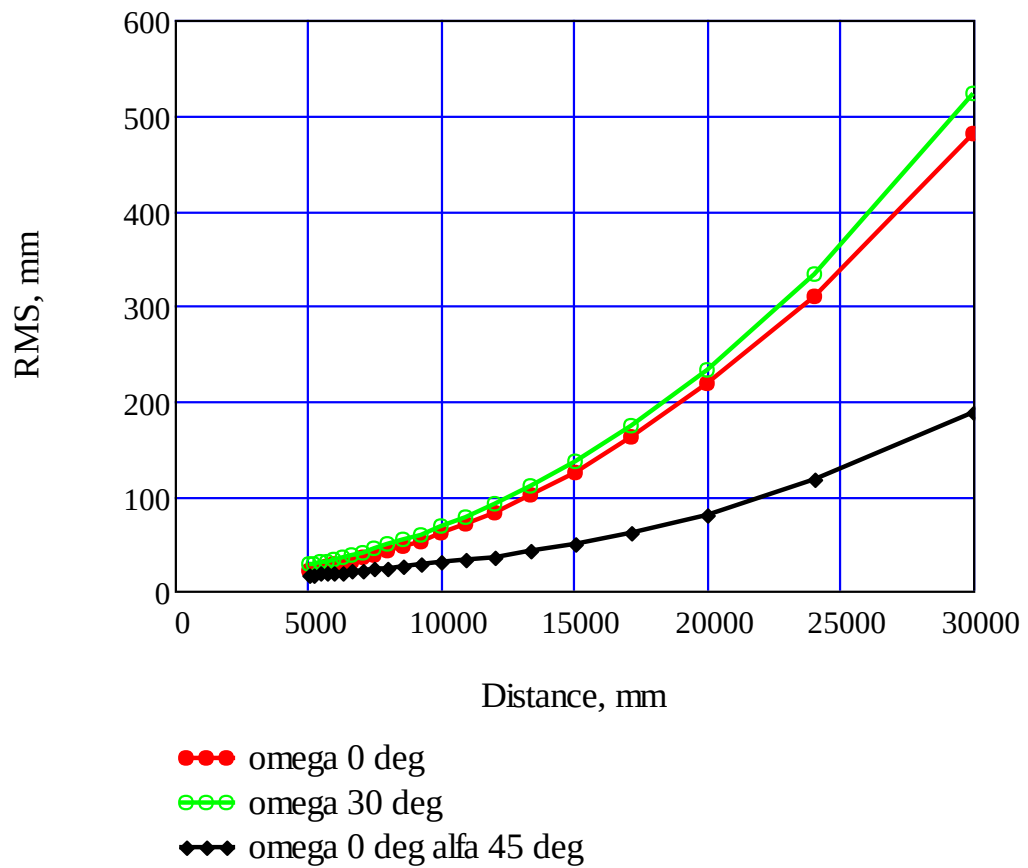


Рис. 9. Графіки похибок просторового визначення місцеположення

Розрахунки виконано для ідеального випадку фотографування, рівнонахиленого та конвергентного випадків. З аналізу графіків можна зробити загальний висновок, що попри невисоку якість цифрових камер, вони дають змогу визначати положення точок у просторі з точністю 10 см на відстані до 25 м. Такої точності цілком достатньо для створення тривимірних моделей в ГІС. Найкращу точність демонструє конвергентний випадок знімання, що відповідає умовам фотографування з використанням смартфонів.

Висновок. У результаті виконаного дослідження вдосконалено методику попереднього розрахунку точності в наземній цифровій фотограмметрії, яка є комплексною і враховує всі джерела похибок, притаманні цифровим камерам, якими обладнано сучасні смартфони. Розглянуто питання розрахунку точності вимірювань на цифровому знімку із врахуванням похибок дискретизації цифрового зображення, наведення, роздільної здатності та розфокусування. Використовуючи отримані сумарні похибки, виконано розрахунок точності створення фотограмметричних моделей за формулами прямої фотограмметричної засічки. Результати розрахунку дозволяють зробити висновки, що за найбільш несприятливих умов камери сучасних смартфонів дають змогу створювати тривимірні моделі з просторовою точністю, не гіршою за 5 см для відстаней до 20 метрів для конвергентного знімання. За результатами аналізу та розрахунку можна рекомендувати можливі заходи для підвищення точності, зокрема шляхом підбору вдалої геометрії фотографування, використання кодових марок для орієнтування знімків та багатократного відображення ідентичних точок на різних знімках і в різних зонах.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Воронин Е.Г.* О влиянии дискретизации на точность измерений по цифровому снимку [Текст] / Е.Г. Воронин // Геодезия и картография. – 1999. - №11. - С. 31-35.
2. *Гельман Р.Н.* Лабораторная калибровка цифровых камер с большой дисторсией [Текст] / Р.Н. Гельман, А.Л. Дунц // Геодезия и картография. – 2002. – №7. – С. 23-31.
3. *Книжников Ю.Ф.* Зависимость точности стереоскопических измерений от размера пиксела цифровых камер [Текст] / Ю.Ф. Книжников // Геодезия и картография. – 2003. - №4. - С. 32-41.
4. *Метелкин А.И.* Основы архитектурно-строительной фотограмметрии / А.И. Метелкин. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1981 – 168 с.
5. *Метелкин А.И.* Фотограмметрия в строительстве и архитектуре / А.И. Метелкин. – М.: Стройиздат, 1981. – 288 с.
6. *Сердюков В.М.* Фотограмметрия в промышленном и гражданском строительстве / В.М. Сердюков. – М.: Недра, 1977. – 245 с.
7. *Сердюков В.М.* Фотограмметрия в инженерно-строительном деле / В.М. Сердюков. – М.: Недра, 1970. – 136 с.
8. *Соколова Н.А.* Технология крупномасштабных аэрофотографических съемок / Н.А. Соколова // М.: Недра, 1973. - 184 с.

9. *Фотограмметрия*. С.Г. Могильный, И.Л. Беликов, Л.И. Ахонина и др., К.: Высшая шк., 1985. – 278 с.

REFERENCES

1. Voronin E.G. (1999). О влиянии дискретизации на точность измерений по цифровому снимку [About the influence of sampling on the accuracy of measurements from a digital imagery]. *Geodezija i kartografija - Geodesy and Cartography*, 11, 31-35 [in Russian].
2. Gelman, R.N., Dunc, A.L. (2002). Laboratornaja kalibrovka cifrovych kamer s bolshoj distorsiej [Laboratory calibration of digital cameras with a large distortion]. *Geodezija i kartografija - Geodesy and Cartography*, 7, 23-31 [in Russian].
3. Knizhnikov J.F. (2003). Zavisimost tochnosti stereoskopicheskikh izmerenij ot razmera piksela cifrovych kamer [Dependence of the accuracy of stereoscopic measurements on the pixel size of digital cameras]. *Geodezija i kartografija - Geodesy and Cartography*, 4, 32-41 [in Russian].
4. Metelkin A.I. (1981). *Osnovy arhitekturno-stroitelnoj fotogrammetrii* [Fundamentals of architectural and construction photogrammetry]. Voronezh: VGU [in Russian].
5. Metelkin A.I. (1981). *Fotogrammetrija v stroitelstve i arhitekture* [Photogrammetry in construction and architecture]. Moscow: Strojizdat [in Russian].
6. Serdjukov V.M. (1977). *Fotogrammetrija v promyshlennom i grazhdanskom stroitel'stve* [Photogrammetry in industrial and civil construction]. Moscow: Nedra [in Russian].
7. Serdjukov V.M. (1970). *Fotogrammetrija v inzhenerno-stroitel'nom dele* [Photogrammetry in engineering and construction]. Moscow: Nedra [in Russian].
8. Sokolova N.A. (1973). *Tehnologija krupnomasshtabnyh ajerotopograficheskikh semok* [Technology of large-scale aerotopographic surveys]. Moscow: Nedra [in Russian].
9. Mogilnij S.G., Belikov I.L., Ahonina L.I., Brezhnev D.V., Bordjukov M.P. (1985). *Fotogrammetrija* [Photogrammetry]. Kyiv: Vishha shkola [in Russian].

О.Н. Гончерюк

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ, СОЗДАНЫХ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ LOW-COST ФОТОГРАММЕТРИИ

В работе приведена методика выполнения предварительного расчета точности фотограмметрических измерений с использованием цифровых камер, которыми оборудованы современные смартфоны. Рассмотрены основные аналитические зависимости цифровой фотограмметрии для прямой фотограмметрической засечки. Выполнен анализ основных источников погрешностей цифровых неметрических камер. Рассмотрены вопросы расчета точности измерений на цифровом снимке с учетом погрешностей дискретизации цифрового изображения, наведения, разрешения и расфокусировки. Для расчетов были использованы типичные параметры цифровых камер современных смартфонов. Используя полученные суммарные погрешности, были выполнены

расчеты точности создания фотограмметрических моделей по формулам прямой фотограмметрической засечки. Приведены выражения для расчета влияния погрешностей угловых элементов снимков и погрешностей координат центров фотографирования. Выполнен предварительный расчет точности для экстремальных значений углов разворота цифровых снимков. По результатам расчета можно сделать выводы, что при наиболее неблагоприятных условиях камеры современных смартфонов позволяют создавать трехмерные модели с пространственной точностью не хуже 5 см для расстояний до 20 метров при конвергентной съемке. Установлено, что повысить точность определения координат можно путем подбора удачной геометрии фотографирования и использованием кодовых марок для ориентирования снимков.

Ключевые слова: *цифровая фотограмметрия, неметрическая камера, low-cost фотограмметрия, предварительный расчет точности, прямая фотограмметрическая засечка.*

O. Honcheruk

**METHOD OF PERFORMING THE PRELIMINARY ACCURACY
CALCULATION OF PHOTOGRAMMETRIC MODELS CREATED ON THE
BASIS OF LOW-COST PHOTOGRAMMETRY DATA**

In this work, a method is given for performing a preliminary accuracy calculation of photogrammetric measurements using digital cameras equipped with modern smartphones. The main analytical dependencies of digital photogrammetry for direct photogrammetric intersection were considered. The main sources of errors in digital non-metric cameras were analyzed. The problems of calculation of the accuracy of measurements in a digital imagery were considered taking into account the errors of digitization of digital imagery, pointing, resolution and defocusing. Typical parameters of digital cameras of modern smartphones were used for calculations. Using the resulting total errors, the calculations of the accuracy of the photogrammetric models by the formulas of the direct photogrammetric intersection were made. Expressions are given for calculating the influence of the errors of the angular elements of the photographs and the errors in the coordinates of the photography centers. A preliminary accuracy calculation for the extreme values of the rotation angles of digital imageries is performed. The results of the calculation allow to draw conclusions that under the most unfavorable conditions, modern smartphone cameras allow creating 3D models with spatial accuracy not worse than 5 cm for distances up to 20 meters for convergent mode. It is established that it is possible to improve the accuracy of the determination of coordinates by selecting a successful geometry of photography and using coded marks for imageries orientation.

Keywords: *digital photogrammetry, non-metric camera, low-cost photogrammetry, preliminary accuracy calculation, direct photogrammetric resection.*



ОСВІТА

Ю.О. Карпінський, *д-р техн. наук, професор,*

Є.О. Рейцен, *канд. техн. наук, професор,*

Н.М. Кучеренко, *ст.. викл.*

кафедра геоінформатики та фотограмметрії

Київський національний університет будівництва і архітектури

АРХІТЕКТУРА – БУДІВНИЦТВО – ТРАНСПОРТ – ТУРИЗМ

Представляємо своєрідний бренд АБТТ: Архітектура – Будівництво – Транспорт – Туризм. У 2016 році у Київському національному університеті будівництва і архітектури на кафедрі геоінформатики і фотограмметрії факультету Геоінформаційних систем та управління територіями почали викладати дисципліну «Основи туризмознавства» для I курсу спеціальності 6.140103 «Туризм».

За такою спеціальністю готують студентів близько 90 ВНЗ України, але тільки в КНУБА створено кластер, який є не лише брендом АБТТ, але й доповнює його дисциплінами «Геоінформаційні методи в туризмі» і «Інформаційні системи та технології в туризмі».

Одними з перших цільову підготовку кадрів для туризму на підставі Постанови Ради Міністрів СРСР та ВЦРПС від 1969 р. «Про заходи подальшого розвитку туризму та екскурсій в країні» почали на географічних факультетах Симферопольського (нині Таврійського) та Київського ім. Т. Шевченка університетів. Перші випуски «методистів-організаторів туристсько-екскурсійної справи» припали на середину 70-х рр. XX ст. Фахівців готували на основі базової географічної освіти, але нині цього, на наш погляд, недостатньо. З'явилося багато нових напрямів і дисциплін, таких як «Геоінформаційні системи», «Туристська логістика», «Філософія туризму» та інші.

Наприклад, Т.І. Ткаченко вважає, що визначення поняття «туризм» змінювалося з часом залежно від етапу історичного розвитку людства, виникнення нових явищ і процесів соціального, економічного, екологічного характеру, а зміст туризму залежав від того, в межах якої наукової дисципліни він формулювався. Найбільш важливими були різні аспекти таких визначень: для географічних наук – просторові; біологічних та медичних наук – санітарно-

медичні; педагогічних наук – освітні; суспільних наук – управлінські, економічні, соціальні, правові, соціологічні та психологічні [1, с.9].

На думку М.А. Жукової, визначення туризму можуть бути умовно поділені на дві групи. Визначення, що належать до першої групи, мають вузькоспеціалізований характер і розкривають окремі соціальні, економічні, правові аспекти туризму або його видів та виступають інструментом для розв'язання конкретних завдань. Інші, концептуальні, або сутнісні, визначення, слід віднести до другої групи. Вони охоплюють предмет у цілому, розкриваючи його в єдності всього різноманіття властивостей і відносин, а також дають можливість відрізнити туризм від схожих явищ [2, с.10].

Одне з перших визначень туризму, визнане ООН у 1954 р., характеризувало його як «активний відпочинок, що впливає на зміцнення здоров'я та фізичний розвиток людини, пов'язаний з пересуванням за межі місця постійного проживання».

Нове тлумачення туризму було запропоноване ООН лише у 1992 р., згідно з яким туризм визначено як «подорожі та перебування в місцях, що знаходяться поза межами місця постійного проживання подорожуючого, на строк не більше 12 місяців з метою одержання задоволення та відпочинку, в оздоровчих, гостьових, пізнавальних або професійно-ділових цілях» [3, с.10]. Отже, якщо в першому визначенні метою туризму є тільки оздоровлення та фізичний розвиток людини, то друге значно розширює перелік його цілей.

Ось перед нами проспект «Укрпрофтуру», на якому виділено фразу: «Подорожувати, відпочивати та робити бізнес – це у нас!» і наведено список 34 туристично-екскурсійних підприємств України. Ми не з'ясували, коли був виданий проспект, і вирішили поцікавитись історією створення цього товариства.

Після виходу постанови Центрального виконавчого комітету СРСР від 17.04.1936 року «Про ліквідацію Всесоюзного товариства пролетарського туризму та екскурсій» керівництво роботою в галузі туризму було покладене на *Всесоюзну центральну раду професійних спілок* (далі – ВЦРПС) та його організації, що стало підставою для створення мережі туристсько-екскурсійних закладів профспілок, які в Українській РСР перебували у складі Української республіканської ради з туризму і екскурсій, підпорядкованої Укрпрофраді згідно з постановою Президії ВЦРПС від 27.11.1959 року «Про поліпшення керівництва розвитком туризму у профспілках».

При ВЦРПС був створений новий керівний орган – Центральна рада з туризму (з 1969 року – Центральна рада з туризму та екскурсій (ЦРТЕ). Відповідно в Україні була створена *Українська республіканська рада з туризму та екскурсій*.

Постановою Президії Центральної ради з туризму та екскурсій 27.07.1982 р. було затверджене «Положення про Українську республіканську раду з туризму та екскурсій». Відповідно до цього положення Українська республіканська рада з туризму та екскурсій – це орган, який здійснює керівництво радами з туризму та екскурсій, іншими підвідомчими установами, організаціями, підприємствами туристично-екскурсійної системи профспілок на території УРСР.

На I-му Установчому з'їзді незалежних профспілок України 06.10.1990 року затверджено положення про *Федерацію незалежних профспілок України* (ФНПУ), яким передбачено, що Рада ФНПУ є правонаступником Укрпрофради.

Федерація незалежних профспілок України стала правонаступницею Української республіканської ради профспілок. Декларацію про заснування Федерації підписали 25 республіканських галузевих профспілок та 24 регіональні міжсоюзні профоб'єднання.

Рада Федерації незалежних профспілок України та Фонд соціального страхування України 04.10.1991 року уклали установчий договір про створення на базі туристсько-екскурсійних підприємств й організацій Української республіканської ради з туризму та екскурсій акціонерного товариства «Укрпрофтур» та затвердили його статут.

Постановою президії Ради федерацій незалежних профспілок України (колишнього ВЦРПС) № П-7-7 від 23.08.1991 року зі змінами від 09.10.1991 року *Українську республіканську раду з туризму та екскурсій перетворено в Акціонерне товариство «Укрпрофтур».*

Виконкомом Київської міської ради народних депутатів за реєстраційним номером 010-247АО 28.10.1991 року була здійснена державна реєстрація Українського акціонерного товариства з туризму та екскурсій «Укрпрофтур».

За час свого існування ПрАТ «УКРПРОФТУР» створено 17 приватних акціонерних товариств: «ВІННИЦЯТУРИСТ», «ВОЛИНЬТУРИСТ», «ДНІПРОТУРИСТ», «ДОНЕЦЬКТУРИСТ», «ЗАПОРІЖТУРИСТ», «ЗАКАРПАТТУРИСТ», «ІВАНО-ФРАНКІВСЬКТУРИСТ», «КІРОВОГРАДТУРИСТ», «ЛЬВІВТУРИСТ», «МИКОЛАЇВТУРИСТ», «ПОЛТАВАТУРИСТ», «РІВНЕТУРИСТ», «ТЕРНОПІЛЬТУРИСТ», «ХАРКІВТУРИСТ», «ХЕРСОНТУРИСТ», «ХМЕЛЬНИЦЬКТУРИСТ» ТА «ЧЕРНІГІВТУРИСТ». Крім того, в складі ПрАТ «УКРПРОФТУР» діє 9 дочірніх підприємств, а саме: ГОТЕЛЬНИЙ КОМПЛЕКС «ТУРИСТ», «КИЇВСЬКИЙ ТУРИСТСЬКИЙ ГОТЕЛЬ «ДРУЖБА», «ЖИТОМИРТУРИСТ», «КИЇВОБЛТУРИСТ», «ЛУГАНСЬКОБЛТУРИСТ», «СУМИТУРИСТ», «ЧЕРКАСИТУРИСТ», «ЧЕРНІВЦІТУРИСТ» та «ТУРИСТИЧНИЙ ОПЕРАТОР «УКРПРОФТУР».

У складі системи АТ «Укрпрофтур» серед всіх обласних дочірніх підприємств й акціонерних товариств нині працює 57 туристичних господарств, зокрема: 22 готелі, 29 туристсько-оздоровчих комплексів, пансіонатів і туристичних баз, два санаторії, чотири автотурбази та 14 окремих офісних приміщень, в яких розміщені адміністрації підприємств, туристичні агенції і бюро подорожей та екскурсій.

У жовтні 2016 року ПрАТ «УКРПРОФТУР» відзначило 25-ту річницю від часу свого створення.

Подаємо схему розміщення туристичних об'єктів в Україні (рис. 1). Знайдемо на ній місто Чернівці, де ми нещодавно побували і де знаходиться один із семи українських об'єктів, включених до спадщини ЮНЕСКО. Це резиденція митрополитів Буковини і Долмації. Внесена вона до списку світової спадщини ЮНЕСКО у 2011 р. Попри відносно молодий вік (зведена у 1882 р.) резиденція є

справжньою перлиною Західної України. Зведена вона у стилі *еклектики*. Про архітектурні стилі можна дізнатися з курсу «Основи архітектури», який викладають на факультетах КНУБА.



Рис. 1. Схема розміщення туристичних об'єктів в Україні

Ось ми на Центральній площі о 12.00 годині підійшли до міської ратуші (рис. 2), на вежі якої з'явився сурмач і на всі чотири сторони світу пролунала мелодія пісні: «А на тому боці, там живе Марічка...» Слухали її багато груп туристів зі своїми гідами.



Рис. 2. Ратуша на Центральній площі Чернівців

Тут на стенді представлена карта архітектурно-історичних пам'яток в м. Чернівці, яку ми сфотографували (рис. 3).



Рис. 3. Визначні архітектурні пам'ятки м. Чернівці

Слід сказати, що у цьому році на кафедрі будівництва та архітектури ВСП Інституту інноваційної освіти виконується магістерська робота на тему «Оптимізація туристських маршрутів у м. Чернівці», а на кафедрі міського будівництва на будівельному факультеті – диплом з науково-дослідним ухилом «Транспорт і туризм у м. Біла Церква», у яких досліджується питання оптимізації транспортної складової в туристичній логістиці [4].

Під номером 4 у списку українських об'єктів спадщини ЮНЕСКО зазначено пункти геодезичної дуги Струве (рис.4).

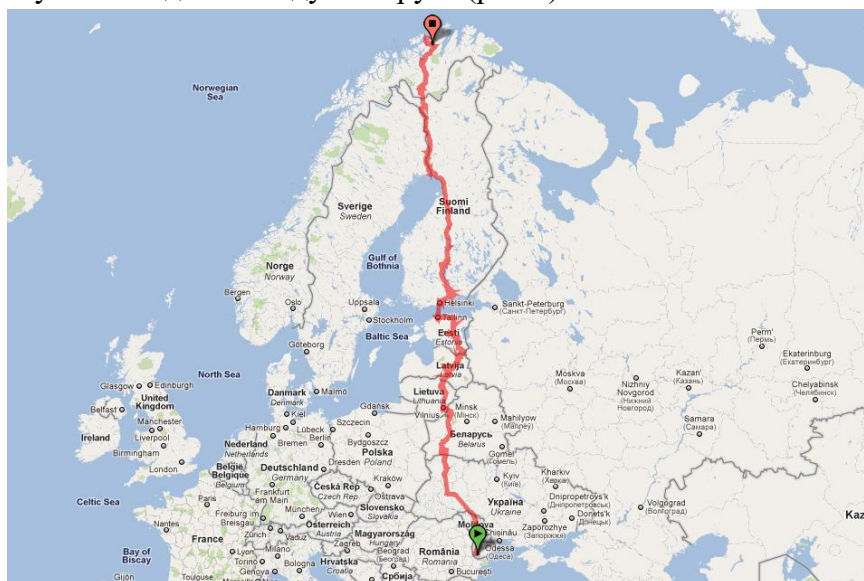


Рис. 4. Схема Дуги Струве

У 2005 році на 29-й сесії Міжурядового комітету з охорони всесвітньої культурної і природної спадщини прийнято рішення про включення «Дуги Струве» до списку Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО.

Дуга Струве - унікальний проект градусних спостережень вздовж меридіана від Норвезького до Чорного морів з метою визначення розмірів та фігури Землі. Геодезична дуга Струве простягається територіями 10 країн Європи: Норвегії, Швеції, Фінляндії, Росії, Естонії, Латвії, Литви, Білорусі, України, Молдови. Дуга Струве – це мережа з 265 триангуляційних геодезичних пунктів, які утворюють 258 триангуляційних трикутників, а також 60 додаткових пунктів

Довжина дуги близько 3000 км. Вона складається майже з 300 трикутників, які утворюють своєрідний ланцюг. Вершини трикутників закріплені на місцевості геодезичними пунктами, які і є матеріальними об'єктами, що уособлюють цю грандіозну науково-технічну пам'ятку. Значна частина геодезичних пунктів дуги збереглася, 34 пункти взято під охорону, з яких чотири розміщені у Хмельницькій області – Баранівка, Катеринівка, Фельштин (рис. 5) та в Одеській області (Старонекрасівка).

Геодезичні роботи з вимірювання цієї дуги, яка становить 1/14 окружності Землі (25 градусів 20 минут по широті), здійснено у 1816-1855 рр. під керівництвом Василя Яковича Струве та військового геодезиста Карла Теннера. Вимірювання дуги стало найбільш значущим вимірюванням фігури Землі за всі попередні дві тисячі років подібних робіт - від Ератосфена Александрійського. Результати вимірювань, що мали високу точність, протягом більш ніж ста років використовувалися в усіх подальших розрахунках фігури Землі та для картографування території.



Рис. 5. Геодезичний пункт Дуги Струве Фельштин

У 2003 році фахівці Науково-дослідного інституту геодезії і картографії за дорученням Укргеодезкартографії розшукали та відновили на місцевості пункти дуги Струве, що на Хмельниччині. У Старонекрасівці Одеської області добре

зберігся монумент, встановлений ще в середині XIX ст. одразу після завершення вимірювання дуги меридіана.

Урочиста церемонія відзначення події включення геодезичної дуги Струве до списку Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО відбулася 17 червня цього року на пункті Фельштин поблизу села Гвардійське Хмельницького району Хмельницької області під егідою Державної служби геодезії, картографії та кадастру.

І тут повинні бути туристи...

На початку XXI ст. в Києві нараховувалось 20 туристичних зон. У 2000 р. загальний об'єм туристських потоків київських туристичних організацій сягнув 237 тис. чол., поповнивши міський бюджет на 50 млн грн [5].

Автор статті [5] тоді писав: «Об'єктивні прогнози на збільшення туристських потоків у Києві передбачають, що найближчим часом кількість іноземних туристів збільшиться у шість разів, а чисельність вітчизняних – втриє». Тоді ще не знали про Євро-2012...

Проте, як відмічалось у нашій статті [6], було б неправильним аналізувати стан туристичного потенціалу міста, не розглядаючи низку ключових аспектів транспортної інфраструктури. Є таке поняття, як «місце транспорту в інфраструктурі туризму» [7]. Транспорт вважають важливою складовою частиною загальної інфраструктури туризму, до якої належить сукупність галузей і закладів, які організують й обслуговують індустрію туризму, туристичну діяльність загалом [8, с.152]. Взаємозв'язок транспорту і сфери туризму виявляється в наданні транспортними компаніями різноманітних послуг з організації перевезень туристів і виконання програми турів.

За останні 15 років кількість українців, які подорожують за кордоном, зросла з 285 тис. в 2000 р. до 2,5 млн в 2013 р. – майже у дев'ять разів. А за останні два роки Україна, як видно з інфографіка, зіткнулась з різким падінням потоку туристів з-за кордону. Якщо у 2013 р. їх було 232 тис. чол., то у 2014 – усього 17 тис., а у 2015 – 15 тис. («Сьогодні», 12.05.2016) (рис. 6).

Повертаючись до бренду Архітектура – Будівництво – Транспорт – Туризм, треба у кожній його складовій забезпечувати студентам отримання відповідних знань, умінь і навичок, що можливо лише у КНУБА, тому що з перших трьох складових АБТТ багато дисциплін викладається саме тут. Відомо, що міністром Молодспорттуризму свого часу був В.І. Цибух, випускник КНУБА й один з авторів «Енциклопедичного словника-довідника» [8].

Внесок викладачів і випускників КНУБА в інфраструктуру туризму буде висвітлений в наступній статті.

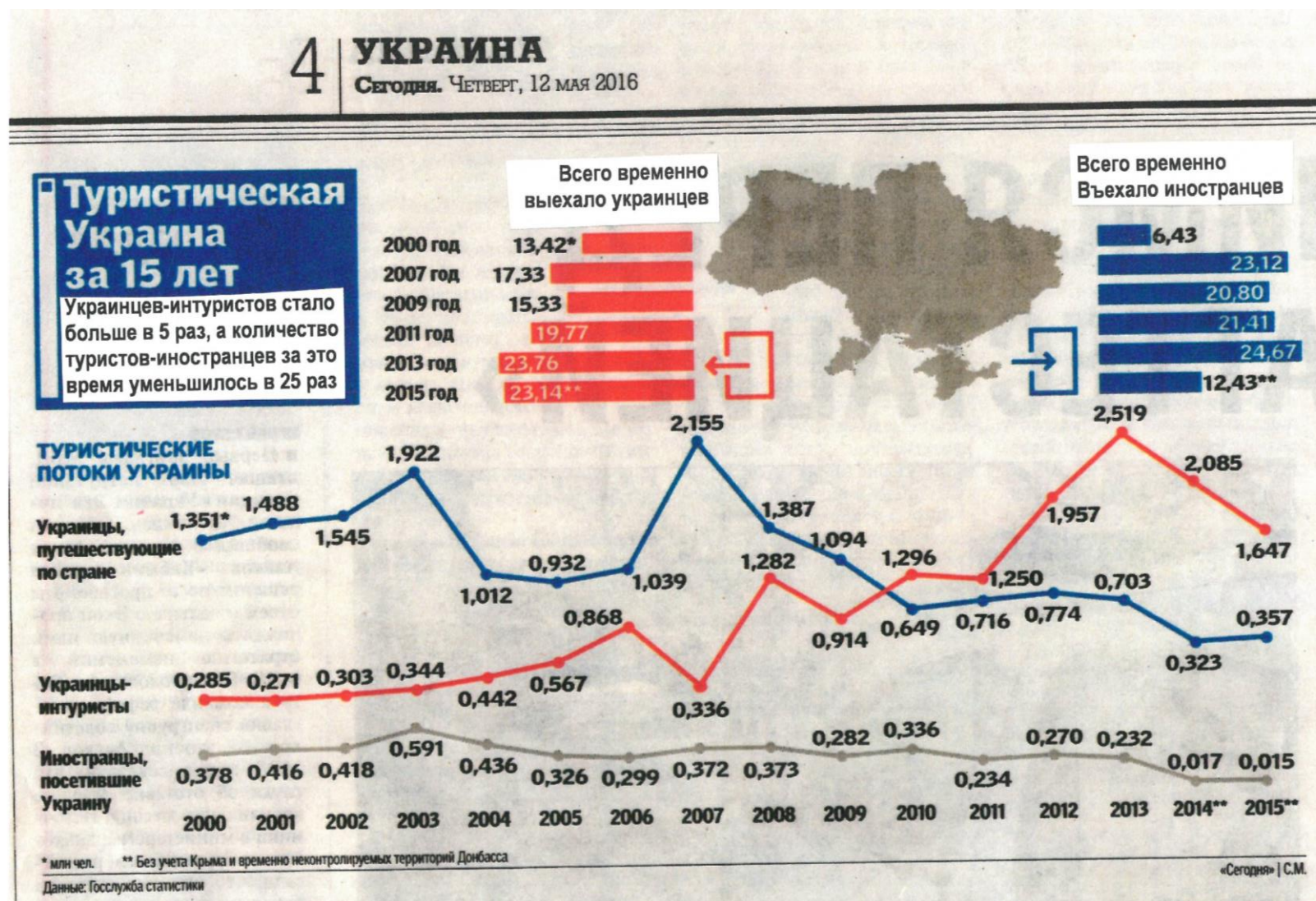


Рис. 6. Туристичні потоки України

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Ткаченко Т.І.* Сталий розвиток туризму: теорія, методологія, реалії бізнесу: монографія / Т.І. Ткаченко; Київський національний торговельно-економічний університет. – Київ: КНТУ, 2009. – 462 с.
2. *Жукова М.А.* Менеджмент в туристском бизнесе: учеб. пособие / М.А. Жукова. – М.: КНОРУС, 2008. – 192 с.
3. *Козловський Є.В.* Правове регулювання туристичної діяльності: навч. посіб. – Київ: ИНЛ, 2015. – 268 с.
4. *Кучеренко Н.М.* Оптимізація транспортної складової в туристичній логістиці / Матеріали міжнарод. наук.-практ. конфер. «Актуальні проблеми та перспективи розвитку туризму в Україні: теорія і практика (25-25 квітня 2013 р.). – С. 114-116.
5. *Шпарик М.* Концепция развития туризма в Киеве до 2010 года / М. Шпарик // Ресторанный и гостиничный бизнес. – 2001. – №2. – С. 13.
6. *Рейцен Е.А.* Туризм и транспорт / Е.А. Рейцен // Ресторанный и гостиничный бизнес. – 2001. – №2. – С. 58-63.
7. *Герасименко В.Г.* Організація транспортних подорожей і перевезень туристів: навч. посіб. / В.Г. Герасименко, А.В. Замкова. – Харків: Бурун Книга, 2011. – 112 с.
8. *Смолій В.А.* Енциклопедичний словник-довідник з туризму / В.А. Смолій, В.К. Федорченко, В.І. Цибух; за заг. ред. В.К. Федорченка. – Київ: Слово, 2006. – 372 с.

Надійшла до редакції

07.04.2018

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 65

Редагування та коректура *Г.В. Кобриної*

Комп'ютерне верстання *В.С. Стрілець*

Дизайн обкладинки: *В.С. Стрілець*
Д.В. Горковчук

Підписано до друку 27.04.2018. Формат 60 × 84 ^{1/16}
Ум. друк. арк. 15,34. Обл.-вид. арк. 16,5.
Тираж 200 прим. Зам. № С-963.

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 НОТАТОК