

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ВИПУСК 67, 2019

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.

DOI: <https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.67>

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 № 29 від 20 грудня 2019 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.29@gmail.com

site: geodesy.knuba.edu.ua

© Київський національний університет будівництва і архітектури, 2019

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

Заступник головного редактора **Роман ДЕМ'ЯНЕНКО**, канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри інженерної геодезії (Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ, **Україна**)

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

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ**МІЖНАРОДНІ ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ**

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

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

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

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

Карел ПАВЕЛКА д-р інженерії, професор, завідувач кафедри геоматики (Чеський технічний університет у Празі, Прага, **Чехія**)

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 КУЛКОВСЬКА, 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

Володимир КАТУШКОВ, д-р техн. наук, професор, професор кафедри геоінформатики і фотограмметрії

Анатолій ЛЯЩЕНКО, д-р техн. наук, професор, професор кафедри геоінформатики і фотограмметрії

Ольга ПЕТРАКОВСЬКА, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри землеустрою і кадастру

Олександр САМОЙЛЕНКО, д-р техн. наук, професор, професор кафедри інженерної геодезії

Володимир СТАРОВСРОВ, канд. техн. наук, професор, професор кафедри інженерної геодезії

Валерій ЧИБІРЯКОВ, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри вищої математики

Юрій МЕДВЕДСЬКИЙ, канд. техн. наук, асистент кафедри інженерної геодезії

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

ISSUE 67, 2019

ENGINEERING GEODESY

SCIENTIFIC AND TECHNICAL COLLECTION

Founded in 1965

State Registration Certificate of print media

KV series number 4185 from May 10, 2000

DOI: <https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.67>

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 № 29 from December 20, 2019)*

Editorial board address:

Ukraine, 03037, Kyiv,

Povitroflotsky avenue, 31

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

+38(044)241-54-71;

e-mail: eng.geodesy.29@gmail.com

site: geodesy.knuba.edu.ua

UDC 528

EDITORIAL BOARD

Editor-in-Chief **Roman SHULTS**, Dr. of Sciences, Docent, Professor of Department of Engineering geodesy (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, **Ukraine**)

Deputy of Editor-in-Chief **Roman DEMIANENKO**, Ph.D, Docent, Head of Department of Engineering geodesy (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, **Ukraine**)

Executive Secretary **Valentyna STRILETS**, Ph.D, Assistant Department of Engineering geodesy (Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, **Ukraine**)

EDITORIAL MEMBERS**FOREIGN EDITORIAL MEMBERS**

Jurate SUZIEDELYTE VISOCKIENE, 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**)

Karel PAVELKA, Dr. Ing. Professor, Head of Department of Geomatics (Czech Technical University in Prague, Prague, **Czech Republic**)

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

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

Eugene LEVIN, Ph.D, 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 UNIVESTITY

Volodymyr STAROVEROV, Ph.D., Professor, Professor Department of Engineering geodesy

Yurij KARPINSKIY, Dr. of Sciences, Professor, Head of Department of Geoinformation and photogrammetry

Volodymyr KATUSHKOV, Dr. of Sciences, Professor, Professor Department of Geoinformation and photogrammetry

Anatoliy LYASCHENKO, Dr. of Sciences, Professor, Professor Department of Geoinformation and photogrammetry

Olga PETRAKOVSKA, Dr. of Sciences, Professor, Head of Department of Land management and cadastr

Olexander SAMOYLENKO, Dr. of Sciences, Professor, Professor Department of Engineering geodesy

Valeriy CHIBIRYAKOV, Dr. of Sciences, Professor, Head of Department of Mathematics

Yurii MEDVEDSKYI, Ph.d., Asisstant of Engineering geodesy Department

З М І С Т

ГЕОДЕЗІЯ

1. *Литвин Г. М., Бондар С. А.* Актуальність узгодження нормативних вимог під час побудови полігонометрії згущення з можливостями сучасних електронних приладів 7
2. *Исаев А.П., Гуляев Ю.Ф., Стрилец В.С., Чуланов П.О.* Оценка мониторинга процесса деформации и осадки прямолинейного вертикального стержня 15
3. *Чибіряков В.К., Староверов В.С., Нікітенко К.О.* Моделювання точності геодезичних спостережень при проведенні моніторингу стану магістральних газопроводів 22
4. *Віват А. Й., Назарчук Н. О.* Дослідження методики застосування скануючого тахеометра TOPCON IS301 для побудови просторових моделей архітектурних форм 35
5. *Бачишин Б. Д.* Побудова емпіричної формули граничного відхилення залізобетонних колон від вертикалі на основі аналізу їх напружено-деформованого стану 46

ГЕОІНФОРМАТИКА ТА КАРТОГРАФІЯ

6. *Лазоренко-Гевель Н.Ю., Кінь Д.О.* Методика зведення цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000 для створення основної державної топографічної карти 56
7. *Карпінський Ю.О., Лященко А.А., Лазоренко-Гевель Н.Ю., Черін А.Г.* Архітектура та функціональна модель бази топографічних даних 67
8. *Король П.П., Волошин В.У., Мельник О.В., Бліндер Ю.С.* Модифіковані циліндричні проєкції у сучасних стандартах пристроїв відображення 81

ФОТОГРАММЕТРІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

9. *Катушков В.О., Сосса Б.Р.* Дослідження деформації одиночного аналітичного аерознімка з дрона 95
10. *Білоус В.В., Боднар С.П.* Муаровий метод реєстрації перетинів поверхні локальних об'єктів 102
11. *Медведский Ю.В.* Радиолокационная интерферометрия с синтезированной апертурой в геодезии 110

- ДО ВІДОМА АВТОРІВ** 123

C O N T E N T S
GEODESY

1. *Lytvyn H., Bondar S.* The relevance of coordination of regulatory requirements in the construction of polygonometry of densification with the possibilities of modern electronic devices 7
2. *Isayev O., Gulayev Yu., Strilets V., Chulanov P.* Evaluation of monitoring the process of deformation and sedimentation of a right line vertical rod 15
3. *Chibiryakov V., Staroverov V., Nikitenko. K.* Simulation of the accuracy of geodesic observations in the condition of monitoring of the state of main gas pipes 22
4. *Vivat A., Nazarchuk N.* Research the application of TOPCON IS301 scanning total station for the building of space models of architectural forms 35
5. *Bachyshyn B.* Construction of an empirical formula for the boundary deviation of reinforced concrete columns from the vertical based on the analysis of their stress-strain state 46

GEOINFORMATICS AND CARTOGRAPHY

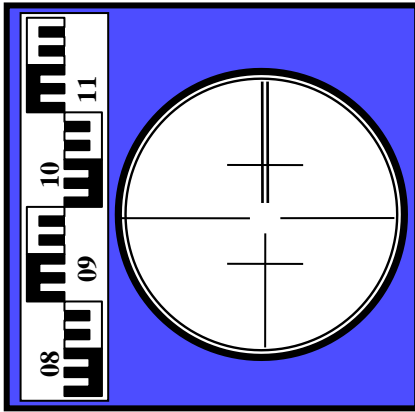
6. *Lazorenko-Hevel N., Kin D.* The edge matching method of digital topographic maps in the scale of 1:50 000 for creation the main state topographic map 56
7. *Karpinsky Yu., Lyashchenko A., Lazorenko-Hevel N., Cherin A.* Architecture and functional model of the topographical database 67
8. *Korol P., Voloshyn V., Melnyk O., Blinder Y.* Modified cylindrical projections in current standards of display devices 81

PHOTOGRAMETRY AND EARTH REMOTE SENSING

9. *Katushkov V., Sossa B.* Investigation of deformation of a single analytical aerograph from a drone 95
10. *Belous V., Bodnar S.* The muar method for recording surface sections of local objects 102
11. *Medvedskyi Yu.* The solution of the problem of geodesic monitoring of high-rise buildings with the application of non-metric digital cameras 110

NOTED AUTHORS

123



ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.48

<https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.67.7-14>

Г. М. Литвин, канд. техн. наук, доц. кафедри інженерної геодезії,
С. А. Бондар, ас. кафедри інженерної геодезії
 Київський національний університет будівництва і архітектури

АКТУАЛЬНІСТЬ УЗГОДЖЕННЯ НОРМАТИВНИХ ВИМОГ ПІД ЧАС ПОБУДОВИ ПОЛІГОНОМЕТРІЇ ЗГУЩЕННЯ З МОЖЛИВОСТЯМИ СУЧАСНИХ ЕЛЕКТРОННИХ ПРИЛАДІВ

У статті розглянуто стан побудови полігонометрії згущення на даний час, проаналізовано нормативну літературу, яка регламентує точність побудови, обґрунтовано необхідність та визначені шляхи зменшення категорій ходів полігонометрії без згуби точності при вимірюванні ліній електронним тахеометром. Звернена увага на виконання кількості прийомів вимірювання кутів в різних категоріях ходів полігонометрії при застосуванні електронних тахеометрів. Також, визначено необхідність змін в побудові знімальної мережі, що розвивається на основі полігонометрії згущення, побудованої із застосуванням електронних тахеометрів.

Ключові слова: полігонометрія згущення, категорії ходів, стадії побудови, точність вимірювань кутів і ліній, кількість кутових прийомів, параметри знімальних мереж.

Вступ. На різних етапах розвитку полігонометричних мереж застосовували різні методи вимірювання ліній для забезпечення відповідної точності конкретної категорії ходів. Основними з них були методи: підвісних приладів, базисних вимірів, оптичних віддалемірів, паралактичних ланок, радіо- та світловіддалемірів. На сучасному етапі геодезичне виробництво забезпечено достатньою кількістю високоточних електронних тахеометрів, які і є основним засобом вимірювання ліній в полігонометрії. Але, особливості та можливості їх застосування до цього часу не враховані в нормативній геодезичній літературі. Не відкориговані довжини ходів, кількість і довжини сторін ходу, не визначена стадійність побудови з урахуванням можливостей електронних тахеометрів, не визначена кількість прийомів вимірювання кутів у полігонометрії.

© Г. М. Литвин, С. А. Бондар, 2019

Також, не вирішене питання побудови знімальних мереж в умовах застосування для вимірювання ліній і кутів електронними тахеометрами. Натомість, вся нормативна технічна література подає вимоги минулих років, навіть документ останніх років [6] наводить застарілі дані.

Аналіз досягнень та публікацій. Протягом усього періоду розвитку геодезії методи побудови мереж, їх параметри і точність, кількість станцій, та інше регламентувалось технічною нормативною документацією, основними положеннями побудови та інструкціями.

Починаючи з 1955 року і до нинішнього часу геодезична діяльність проводилась згідно інструкцій [1-5], згідно яких встановлювалась категорія ходів полігонометрії згущення та ситуації їх побудови. Незважаючи на прогрес в розвитку приладів, методів вимірювань і технологій, полігонометрія згущення складається з трьох категорій ходів: 1 розряд підвищеної точності [2], перейменованій в 4 клас [3-6] та ходи 1 і 2 розрядів, причому точність їх не змінювалась: 1: 25000, 1:10000 та 1:5000 (1 розряд в різний час мав точність 1:8000). Тобто, протягом половини століття в полігонометрії згущення нічого не змінювалось, окрім незначної зміни довжин ходів і сторін ходу.

Але в восьмидесятих роках минулого століття точність світловіддалемірів для вимірювання ліній в полігонометрії згущення становила $m_s = (a + b * S_{км})$, де $a = 15$ мм, $b = 10$ мм, то на даний час, величини a і b становлять, в основному, 2 мм. Слід відзначити, що була спроба [7] скорегувати довжини сторін та їх кількість в полігонометричних ходах, але в нормативній літературі це знайшло відображення лише при побудові знімальних мереж (теодолітних ходів). В полігонометрії були внесені зміни, як доповнення, від 11 листопада 1987 р. до інструкції [4], але в подальших документах ці доповнення (хоч вже і застарілі) загубились.

Нині діюча інструкція [5] також безнадійно застаріла. Вона була розроблена ще згідно з Основними положеннями (ГКНГА-1.04-01-93, К., 1993 р.) та видана в 1999 році, коли діяли вже нові основні положення створення державної геодезичної мережі України. Ці положення втратили чинність і були замінені в 2013 році на Порядок побудови ДГМ [6]. Це останній розроблений діючий документ, але в ньому теж, окрім піднесення полігонометрії згущення до спеціальних мереж, нічого не змінилось. Все ті ж три категорії ходів полігонометрії і та ж точність, незважаючи на сучасні досягнення.

Згідно з виконаним оглядом існуючої нормативної документації для побудови мереж згущення, можна зробити висновок про застарілі вимоги, які не відповідають сучасному стану розвитку приладів і методів побудови полігонометрії.

Постановка завдання. На основі аналізу нормативної літератури для побудови спеціальних геодезичних мереж методом полігонометрії (мереж згущення) обґрунтувати можливість зменшення ситуаційності побудови мереж з урахуванням можливостей електронних тахеометрів.

Основна частина. Полігонометрія згущення проектується рівномірно по всій території з умовою, що довжина окремих теодолітних ходів точною 1:2000 між пунктами полігонометрії не повинна перевищувати вимог інструкції [5]. В забудованих територіях необхідно, окрім крупномасштабного знімання,

забезпечити також перенесення проектів планування і забудов в натуру, розпланування трас міських підземних комунікацій, перенесення в натуру червоних ліній, виконавче знімання та інше. По точності геодезична мережа згущення (полігонометрія) повинна відповідати вимогам точності знімання планів масштабу 1:500.

Щільність пунктів державної геодезичної планової мережі для топографічного знімання масштабу 1: 2000 і крупніше складає: для незабудованих територій - 1 пункт на 5-15 км², а на забудованих територіях — 1 пункт на 5 км², - це означає, що максимальна відстань по прямій між пунктами може бути в межах 4,5 - 7 км (максимальна довжина ходу 1 розряду). Довжина окремого ходу 4 - 14 км. Наявна неузгодженість між щільністю пунктів ДГМ та довжинами ходів полігонометрії. Звідси і кількість категорій ходів (стадій) побудови. Три стадії встановлені були при малоточних та затратних засобах вимірювання ліній для досягнення необхідної точності.

Відомо, що однією із переваг полігонометрії є розподіл впливу похибок кутових і лінійних вимірів на точність положення кінцевої точки ходу (на похибки поперечного і поздовжнього зсуву). Отже, при однаковій загальній похибці можливо змінити співвідношення між ними. При застосуванні електронних тахеометрів значно зменшується похибка поздовжнього зсуву при незмінній або зменшеній похибці поперечного. Це дає змогу підвищити точність полігонометричних ходів і при коротких сторонах. При найменшій стороні полігонометрії 2 розряду 80 м, $m_s=(2+2ppm)=2.15\text{мм}$; $\Delta_s=2m_s=4.3\text{мм}$ відносна похибка складе 1:18600, що в 3,5 рази точніше, ніж в інструкції. Внаслідок цього можна збільшити довжини ходів в 2-2,5 рази, що не є дослідженим. Отже, можливо без втрати точності відмовитись від 1 і 2 розрядів і будувати лише однастадійну полігонометрію.

При сучасних методах побудови полігонометрії вимірювання кутів і ліній в ходах різних категорій (4 класу, 1 і 2 розрядів) практично, по точності і трудозатратах, нічим не відрізняються. А однастадійна побудова забезпечує жорсткість мережі, значно зменшує похибки вихідних даних на ходи нижчої точності. Вирівнювання суцільної мережі на всю територію населеного пункту дозволяє отримати однорідну точність пунктів, підвищити надійність їх визначення. Тому є нагальна вимога ввести корекцію в інструкцію. Тільки в [5] існує пункт, в якому рекомендується прагнути до скорочення багатоступеневості і обмежитись розвитком полігонометрії 4 класу і 1 розряду. Але ніяких конкретних нормативів і параметрів не наведено.

Методика розрахунку кількості стадій геодезичної основи і необхідної точності вимірювання кутів і ліній наведена в [14]. Розрахунок зроблений виходячи із приладів і методів того часу, тому необхідно виконати розрахунки, виходячи із нинішньої ситуації та закріпити результати в нормативних документах.

Також відсутня інструкція по закріпленню пунктів полігонометрії стінними знаками на забудованій території, регламентація кількості прийомів вимірювання кутів при їх координуванні та методика використання електронних тахеометрів та електронних рулеток при прив'язці до стінних знаків.

Важливим фактором врегулювання співвідношення точності кутових і лінійних вимірів є встановлення кількості прийомів вимірювання кутів в полігонометрії електронними тахеометрами.

В електронних тахеометрах, як і в електронних теодолітах, застосовується імпульсна або динамічна система відлічування та автоматична реєстрація результатів вимірювань. Електронні тахеометри випускають відомі фірми: Leica, Sokkia, Nikon, Trimble, Topcon та інші. Точність вимірювання кутів у яких сягає від 5"- 6" до 0,5". Не вдаючись в детальне перерахування всіх наявних моделей, можна відмітити їх характерні особливості, а саме: автоматично компенсуються колімаційна похибка, похибка за нахил осі обертання труби і осі обертання приладу; вводяться поправки за кривизну Землі та рефракцію; враховується температура навколишнього середовища і атмосферний тиск. Вбудовані блоки керування автоматично компенсують похибки візування та індексу вертикального круга. Два осьові компенсатори автоматично виправляють похибку встановлення горизонтальних і вертикальних площин. Багато тахеометрів оснащені автоматичною системою наведення та самонаведення, автоматизованою системою відлічування кругів під час визначення кутів та напрямків. Це дає можливість повністю виключати помилки спостерігача (необхідність фокусувати на кожну точку, помилки від втоми), що, в свою чергу, значно прискорює швидкість та підвищує ефективність вимірів.

Існують різноманітні методи електронних відліків при вимірюванні напрямків (динамічні, кодові, імпульсні), але в будь-якій документації тахеометра не приведені кількість прийомів для досягнення тієї чи іншої точності вимірюваного кута чи напрямку. Необхідно відмітити, що, для послаблення впливу ексцентриситету та похибок нанесення поділок на лімб, в динамічних системах використовують двосторонню систему відліків (що гарантується конструкцією приладу), та рекомендовано повторні виміри на різних частинах лімбу (однак, не вказано на яких саме; не зазначено кут між прийомами). Але такі системи використовують в якості еталонних [10].

Зважаючи на вищесказане, виникає питання встановлення кількості прийомів вимірювань кутів як в полігонометрії різних категорій ходів, так і в знімальних мережах.

Для знімальних мереж, сторони в яких виміряні електронними тахеометрами, довжини теодолітних ходів збільшені від 0,8 км до 2,0 км при мінімальній довжині сторони 0,02 км. Отже, щільність пунктів полігонометрії згущення може бути значно зменшена.

Довжина всякого теодолітного ходу, при використанні електронних тахеометрів, збільшується в 5-8 разів. Але, якщо врахувати точність кутових вимірів, то її можна іще збільшити, в порівнянні з ходами, в яких відстані вимірюються рулетками і мірними стрічками.

Аналогічна ситуація спостерігається і в ДБН [12; 15], куди автоматично перенесені положення діючої інструкції [5], хоча в [15] пропонується збільшити довжини ходів 1 і 2 розрядів до 30% при використанні електронних тахеометрів. Такий стан мереж також накладає відбиток на визначення трудових затрат та розцінок на виконані роботи, ускладнює складання кошторису, та робить його

невідповідним дійсності. Наприклад, порівняно нескладна робота по рекогностуванню пунктів полігонометрії 4 класу та 1 розряду, які визначаються з допомогою ГНСС і мають практично однаковий склад робіт, значно відрізняються за розцінками та трудовими затратами (приблизно в 2,5 рази), що є не виправданим. Також відрізняються розцінки і трудові затрати при вимірюванні кутів і ліній на пунктах 4 класу та 1 розряду в 1,5 рази [16]. Аналогічна ситуація спостерігається і при інших видах робіт при побудові полігонометрії згущення. При застосуванні електронних тахеометрів практично немає різниці в об'ємах робіт по вимірюванню кутів та ліній для різних категорій ходів полігонометрії, так як і для теодолітних ходів.

Висновки. Для підвищення ефективності геодезичних робіт при побудові полігонометрії згущення необхідно в законодавчому порядку визначити категорії ходів полігонометрії згущення і кількість стадій її побудови при застосуванні електронних тахеометрів. Також слід визначити кількість прийомів при вимірюванні кутів електронними тахеометрами, впорядкувати довжини сторін в ходах як полігонометрії, так і в знімальних мережах. Обґрунтовано потребу вирішити питання ціни і трудових затрат для однотипних робіт в ходах різних категорій полігонометрії. Вирішення цих питань закріпити в першому наближенні як додаток до інструкції, а в подальшому ввести її в текст і зобов'язати геодезичну спільноту до виконання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Инструкция* по топографической съемке в масштабе 1:5000 и 1:2000. Москва: Геоиздат, 1955. – 93 с.
2. *Инструкция* по топографо-геодезическим работам для городского, поселкового и промышленного строительства. ГКС СН.212-62., Москва: Госстройиздат, 1962. – 183 с.
3. *Инструкция* по топографическим работам при инженерных изысканиях для промышленного, сельскохозяйственного, городского и поселкового строительства: СН-212-73, Москва: Стройиздат, 1974. -190 с.
4. *Инструкция* по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 : ГКИНТ-02-033-82. Москва: Недра, 1982. – 195 с.
5. *Інструкція* з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 (ГКНТА 2.04-02-98). – Київ, 1999. – 155 с.
6. *Порядок* побудови Державної геодезичної мережі: прийнятий 7 серпня 2013 р. №646 // Урядовий кур'єр, - 2013 - №165. – 12 вересня. – С. 11-12.
7. *Тревого И.С.* О соотношении точности угловых и линейных измерений в светодальномерной полигонометрии / И.С. Тревого // *Геодезия, картография и аерофотосъемка.* – 1977, №26. – с. 90-97.
8. *Тревого И.С.* Городская полигонометрия: монография / И.С. Тревого , П.М. Шевчук. – Москва: Недра, 1986. – 198 с.
9. *Геодезія.* Підручник / А.А. Островський, О.І. Мороз, В.Л. Тарнавський. – Львів: 2007. – 507 с.
10. *Ямбаев Х.К.* Геодезическое инструментоведение: Учебник. / Х.К. Ямбаев. – М.: Гаудеамус, 2011 – 583 с.

11. *ДБН В.1.3-2:2010* Геодезичні роботи в будівництві. Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві.(чинний від 21.01.2010 р.) - Київ, Мінрегіонбуд України, 2010 р. – 70 с.

12. *ДБН А.2.1-1-2014*. Інженерні вишукування для будівництва. – Київ, Мінрегіонбуд України, 2014 – 126 с.

13. *Мороз О. І.* Геодезичні прилади: навч. посіб. / О. І. Мороз, С. Тревого, Т. Г. Шевченко; за ред. Т. Г. Шевченка. — Львів: вид-во нац. ун-ту „Львівська політехніка”, 2005. – 264 с.

14. *Курс инженерной геодезии.* Геодезические работы при проектировании и строительстве городов и тоннелей // Н.Н. Лебедев. – Москва, Недра 1970 – 376 с.

15. *СНиП 1.02.07-87* Инженерные изыскания для строительства/ Госстрой СССР, ГУГК СССР, - Москва: ЦИТП Госстроя СССР, 1988. – 104 с.

16. *Сборник цен на изыскательские работы для капитального строительства.* М., Стройиздат СССР, 1982г.

REFERENCES

1. Instrukcija po topograficheskoj sjomke v masshtabe 1:5000 и 1:2000 [Instructions for topographic photography on a scale of 1: 5000 and 1: 2000] (1955). Moscow: Geoizdat [in Russian].

2. Instruksiya po topografo-geodezicheskim rabotam dlya gorodskogo, poselkovogo i promyshlennogo stroitelstva.[Instructions for topographic and geodetic works for urban, village and industrial construction] (1962). GKS SN.212-62. Moscow: Gosstroyizdat [in Russian].

3. Instrukcija po topograficheskim rabotam pri ingenernih izyskanijah dlja promyshlennoho, selskohozjajstvennoho, gorodskogo i poselkovogo stroitelstva: SN-212-73 [Instructions for topographical work in engineering surveys for industrial, agricultural, urban and township construction] (1974). Moscow: Stroyizdat [in Russian].

4. Instruksiya po topograficheskoj syomke v masshtabah 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 : GKINT-02-033-82. [Instructions for a topographic survey on a scale of 1: 5000, 1: 2000, 1: 1000, 1: 500] (1982). Moscow: Nedra [in Russian].

5. Instruksiia z topografichnoho znimannia u masshtabakh 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 (HKNTA 2.04-02-98) [Instruction of topographic information at scales 1: 5000, 1: 2000, 1: 1000, 1: 500 (GKNTA 2.04-02-98)] (1999). Kyiv [in Ukrainian].

6. Poryadok pobudovi Derzhavnoyi geodezichnoyi merezhI: priynyaty 7 serpnia 2013 r. №646 [Procedure for designing of the State Geodetic Network: adopted on August 7, 2013 №6466.] (2013). *Uryadovyy kuryer - Government courier*. 165, 11-12 [in Ukrainian].

7. Trevogo I.S. (1977). O sootnoshenii tochnosti uglovyih i lineynyih izmereniy v svetodalnomernoy poligonometrii [On the ratio of the accuracy of angular and linear measurements in light-range polygonometry] *Geodeziya, kartografiya i aerofotosemka – Geodesy cartography and aerial photography*, 26, 90-97 [in Russian].

8. Trevogo I.S. & Shevchuk P.M. (1986). *Horodskaya polyhonometriya: monohrafyya [Urban polygonometry: monograph]* Moscow: Nedra [in Russian].

9. Ostrovskiy A.A., Moroz O.I., Tarnavskiy V.L. (2007). *Heodeziia [Geodesy]*. Lviv: Lvivska politekhnika [in Ukrainian].
10. Yambaev H.K. (2011). *Geodezicheskoe instrumentovedenie: Uchebnik [Geodetic Instrumentation: A Textbook]*. Moscow: Gaudeamus [in Russian].
11. Heodezychni roboty v budivnytstvi. Systema zabezpechennia tochnosti heometrychnykh parametriv u budivnytstvi [Geodetic works in construction. System for ensuring the accuracy of geometric parameters in construction].(2010). *DBN V.1.3-2:2010 from 21st January 2010*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy [in Ukrainian].
12. Inzhenerni vyshukuvannia dlia budivnytstva [Engineering surveys for construction]. (2014). *DBN A.2.1-1-2014 from 1st August 2014*. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy [in Ukrainian].
13. O. I. Moroz, S. Trevoho, T. H. Shevchenko (2005). *Heodezychni prylady. Navchalnyi posibnyk [Geodetic instruments: textbook]*. Lviv: Natsionalnyy universytet «Lvivska politekhnika» [in Ukrainian].
14. Lebedev N.N. (1970). *Kurs inzhenernoy geodezii. Geodezicheskie raboty pri proektirovanii i stroitelstve gorodov i tonneley [Course of engineering geodesy. Geodetic works in the design and construction of cities and tunnels]*. Moscow: Nedra [in Russian].
15. Inzhenernyie izyiskaniya dlia stroitelstva [Engineering surveys for construction] (1988). *SNiP 1.02.07-87*. Moscow: TsITP Gosstroya SSSR [in Russian].
16. Sbornik tsen na izyiskatelskie raboty dlia kapitalnogo stroitelstva [Collection of prices for survey work for capital construction] (1982). Moscow: Stroyizdat SSSR [in Russian].

Г. М. Литвин, С. А. Бондар

**АКТУАЛЬНОСТЬ СОГЛАСОВАНИЯ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ
ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПОЛИГОНОМЕТРИИ СГУЩЕНИЯ С
ВОЗМОЖНОСТЯМИ СОВРЕМЕННЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ**

В статье проанализирована нормативная литература многолетнего построения полигонометрии сгущения, обсуждаются категории ходов и этапы их построения. Сделан вывод о несоответствии инструкций современным методам измерений электронными тахеометрами. Сделан вывод о необходимости согласовать точность линейных и угловых измерений и стадий построения полигонометрии сгущения, разработать условия построения съёмочных сетей на современном этапе, определить соотношение между стоимостью работ в различных категориях ходов.

Ключевые слова: полигонометрия сгущения, категории ходов, стадии построения, количество угловых приемов, точность измерений линий и углов.

H. Lytvyn, S. Bondar

**THE RELEVANCE OF COORDINATION OF REGULATORY
REQUIREMENTS IN THE CONSTRUCTION OF POLYGONOMETRY
OF DENSIFICATION WITH THE POSSIBILITIES OF MODERN
ELECTRONIC DEVICES**

At different stages of development of polygonometric networks, different methods of measuring lines were used to ensure the appropriate accuracy of a specific category of moves. At the present stage, geodetic production is provided with a sufficient number of high-precision electronic total stations, which are the main means of measuring lines in polygonometry. However, the features and possibilities of their application are still not taken into account in the normative geodetic literature.

With modern construction methods of polygonometry, the measurement of angles and lines in the course of different categories is practically, in accuracy and labor costs, no different. And one-stage construction provides network rigidity, considerably reduces measurement errors of initial data on moves of lower accuracy. Alignment of a continuous network on all territory of the settlement allows to receive uniform accuracy of points, to increase reliability of their definition.

The article analyzes the normative literature of the long-term construction of densification polygonometry, discusses the categories of networks and the stages of their construction. It is concluded that the instructions do not correspond to the modern methods of measurement with electronic total stations. It was concluded that it is necessary to agree on the accuracy of linear and angular measurements and stages of building densification polygonometry, to elaborate the conditions for building survey networks at the current stage, to determine the relationship between the cost of work in various categories of networks.

Key words: *densification polygonometry, network categories, construction stages, number of angular methods, accuracy of line measurements and angles.*

Надійшла до редакції

05.05.2019

А.П. Исаев, канд. техн. наук, доц.,

Ю.Ф. Гуляев, доц. кафедры инженерной геодезии,

В.С. Стрилец, канд. техн. наук,

П.О. Чуланов, ст. преподаватель

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

ОЦЕНКА МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССА ДЕФОРМАЦИИ И ОСАДКИ ПРЯМОЛИНЕЙНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ

На примере вертикального стержня из низкоуглеродистой стали, который жестко закреплен и деформируется в результате осадки нижнего основания, сделан расчет точности измерения деформации растяжения при условии, что она позволит отследить предел упругости. Показана возможность измерения деформации с помощью тензометрических датчиков. Рассмотрены вопросы мониторинга такой конструкции.

Ключевые слова: деформация, осадка, напряжения, предел упругости, вертикальный металлический стержень, точность измерений, датчики деформации, геодезический мониторинг.

Вступление. Элементы строительных конструкций (ЭСК) претерпевают разного рода деформации в результате силовых и температурных воздействий. Силовые воздействия происходят от внешних нагрузок [7]. В качестве внешних нагрузок могут быть смещения элементов, вызванные, например, природными факторами, такими как осадка земной поверхности под сооружением. Пока деформации находятся в пределах расчетных значений, они не страшны для конструкций сооружения, однако, если они превысят допустимые значения, то может возникнуть опасность их эксплуатации. Поэтому за многими крупными, сложными, ответственными сооружениями ведется постоянный мониторинг методами инженерной геодезии и с применением датчиков деформаций, перемещений, наклонов и т.п. Создаются автоматизированные системы мониторинга с большим количеством различных датчиков, установленных по всему объёму сооружения и под фундаментами, закрепленных на поверхности несущих конструкций или залитых в бетон.

Результаты измерения смещений и деформаций, их точность должны отражать все этапы прохождения элементом измененного и деформированного состояния.

Анализ исследований и публикаций. Анализ основных исследований и публикаций по данной тематике представлен в работе [1].

Постановка задания. В статье поставлена задача вычислить значения СКП измерения деформации растяжения ЭСК по параметрам, зависящим от материала и от напряжений, возникающих в нём, под нагрузкой. Для расчета взять физическую модель элемента в виде прямолинейного вертикального однородного стержня, подверженного деформации в результате осадки массива

© А.П. Исаев, Ю.Ф. Гуляев, В.С. Стрилец, П.О. Чуланов, 2019

под нижним основанием. Показать возможность измерения деформации растяжения с полученной из расчета точностью.

Основная часть. В работе [1] приведена формула для расчета СКП (при вероятности $P = 0,9973$) измерения смещения конца стержня в результате деформации в виде продольного растяжения. Деформация вызвана воздействием на него продольной растягивающей силы, возникшей в результате осадки нижнего основания стержня. При этом верхнее основание осталось неподвижным.

Запишем формулу из [1] в виде относительной погрешности и сделаем некоторые расчеты.

$$\frac{m_z}{l} = \frac{1}{3\sqrt{2}E} \delta\sigma \quad (1)$$

Как видим, точность измерения деформации зависит от модуля упругости и от выбранной ширины интервала напряжений, ограничивающего область предельных упругих деформаций.

Модуль упругости, пределы пропорциональности, упругости, текучести и прочих этапов деформации зависят от материала, из которого изготовлен исследуемый элемент.

В строительстве и в промышленности несущие элементы крупных инженерных объектов изготавливают в основном из стали и железобетона.

Для изготовления металлических элементов конструкций применяются различные марки стали, которые подходят именно для данной области. Это такие разновидности стали как конструкционная и строительная. Для создания системы обозначений и маркировки стали её классифицируют по химическому составу, качеству, прочности и т.д.

Одним из наиболее важных химических элементов в составе конструкционной и строительной стали является углерод. Особенностью строительной стали, которая имеет наибольшее применение в строительных конструкциях, является то, что она содержит низкий процент углерода. Это, так называемая, низкоуглеродистая сталь. Углерод придает стали прочность и твердость, снижая пластичность и вязкость. Чем больше углерода в ней, тем выше её прочность, но ниже пластичность, и наоборот. По химическому составу сталь классифицируется на углеродистую и легированную. Углеродистая сталь подразделяется на низкоуглеродистую ($< 0,3\% \text{ C}$), среднеуглеродистую и высокоуглеродистую.

Основной и самый главный показатель качества стали, это содержание в ней примесей – серы, фосфора и т.д. Чем их меньше, тем лучше. В зависимости от этого, по качеству сталь подразделяется на обыкновенного качества, качественную, высококачественную и особо качественную. Сталь обыкновенного качества содержит до $0,05\%$ вредных примесей и имеет маркировку «Ст» в начале обозначения. Для изготовления широкого ассортимента строительных конструкций используется, например, сталь марки СтЗсп (ДСТУ 2651:2005). Эта сталь относится к классу низкоуглеродистых металлов нормальной прочности и обыкновенного качества [2]. Модуль упругости такой стали $E = 2 \cdot 10^5 \text{ Мпа}$.

Пределу пропорциональности для данной марки стали соответствует значение напряжения $\sigma_{пр} = 200 \text{ Мпа}$, а пределу упругости значение напряжения

$\sigma_{\text{упр}} = 210$ Мпа [3]. Тогда предельное отклонение напряжения δ_{σ} , соответствующее ширине интервала упругого нелинейного удлинения, т.е. удлинения от предела пропорциональности до предела, за которым начинаются остаточные деформации, составит 10 Мпа.

Подставив соответствующие значения в формулу (1), получим:

$$\frac{m_z}{l} = \frac{1}{85000}, \text{ т.е. } 0,012 \text{ мм на } 1 \text{ м длины.} \quad (2)$$

С вероятностью $P = 0,95$ будем иметь:

$$\frac{m_z}{l} = \frac{1}{57000}, \text{ т.е. } 0,018 \text{ мм на } 1 \text{ м длины.} \quad (3)$$

Посмотрим, как изменяется результат при изменении интервала напряжений. Расширим интервал напряжений до предела текучести и тем уменьшим точность измерений. Пределу текучести для данной марки стали соответствует значение напряжения $\sigma_{\text{тек}} = 240$ Мпа. Однако при этом рискуем попасть в область остаточных деформаций, вплоть до начала текучести материала. Предельное отклонение напряжения составит 40 Мпа, тогда

$$\frac{m_z}{l} = \frac{1}{21000}, \text{ т.е. } 0,048 \text{ мм/м.} \quad (4)$$

Измерить деформацию с точностью, которая задана формулами (2) или (3) возможно с помощью датчиков деформации.

В общем случае датчик – это компонент измерительного, сигнального, регистрирующего, управляющего устройства, преобразующий изменение контролируемой физической величины в сигнал, удобный для измерения, передачи, обработки, регистрации и т.д. [4].

Поэтому в измерительных устройствах в зависимости от вида измеряемой величины различают датчики деформаций (напряжений), перемещений (линейных, угловых), температуры, давления и т.д. В зависимости от физического принципа работы и от формируемого на выходе сигнала, датчики подразделяются на электрические, оптические, индуктивные, механические и другие.

Электрический датчик деформации (ДД) реагирует на деформацию растяжения¹⁾ (или сжатия) на том участке элемента строительной конструкции, на котором он закреплен, и предназначен для измерения относительной деформации. Датчик деформации является первичным элементом измерительного устройства и измеряет один вид деформации на определенном участке. Для измерения сложных видов деформаций создаются измерительные цепи, состоящие из определенного количества датчиков.

В современных автоматизированных системах геодезического мониторинга крупных зданий и инженерных сооружений используют во многих случаях простые и надежные тензометрические датчики деформации (ТДД), основанные на тензорезистивном или пьезорезистивном эффекте. Для технически сложных объектов с опасным производством, там, где могут возникнуть чрезвычайные ситуации и где доступ человека ограничен, применяют, например, более сложные и высокоточные волоконно-оптические датчики деформации (ВОДД) [5].

¹⁾ Все другие виды деформации считаются более сложными и могут быть представлены в виде комбинации деформаций растяжения/сжатия и сдвига.

Тензометрический датчик деформации жестко крепится на исследуемом металлическом или железобетонном элементе конструкции и деформируется вместе с ним. Материал, из которого сделан чувствительный элемент датчика, токопроводящий (металлическая проволока, пленка или полупроводник) и при деформации изменяет своё удельное электрическое сопротивление. Как следствие, изменяется сопротивление чувствительного элемента датчика, которое измеряется соответствующими приборами.

В современных системах мониторинга ТДД имеют цифровой выход на электронный блок, который преобразует аналоговый тензометрический сигнал в цифровой сигнал, передаваемый по проводной линии. Цифровой выход позволяет организовать последовательные измерительные цепи, состоящие из большого количества датчиков и передавать информацию на компьютер на расстояние до нескольких сот метров.

Каждый класс ТДД имеет определенный диапазон измерения деформации и соответствующую точность измерения. Их величина зависит от принципа работы и технических характеристик устройства. Эти два параметра тесно связаны между собой. Как правило, чем выше точность измерения, тем меньше диапазон измерения ²⁾.

Не рассматривая какой-то один конкретный датчик или класс датчиков, приведем реальные характеристики некоторого условного тензодатчика (можно посмотреть цифровой тензодатчик деформации TMG с такими же характеристиками [6]). Погрешность измерения многих подобных тензодатчиков составляет обычно 1% от диапазона измерения. Диапазон измерения цифровых ТДД при измерении деформаций растяжения может быть в пределах 0 – 300 мкм/м; 0 – 600 мкм/м; 1600 мкм/м и доходить до 2200 мкм/м и более. Возьмем, к примеру датчик с точностной характеристикой 1% от 1000 мкм/м, что равно 10 мкм/м или 0,010 мм/м. Как видим, с помощью такого датчика можно измерить величину продольной деформации рассматриваемого нами элемента в пределах одного миллиметра на один метр длины с точностью, которая соответствует расчету (2) и позволяет контролировать развитие деформации до предела упругости.

В общей системе геодезического мониторинга инженерных сооружений наблюдениям за осадками и деформациями конструкций и их элементов уделяется особое внимание. Осадка, как вертикальное смещение сооружения в целом, может не сопровождаться деформациями (равномерная осадка) или происходить совместно с деформациями (неравномерная осадка). Деформация, как смещение частиц элемента конструкции относительно друг друга может происходить только в результате силового воздействия ³⁾, например, осадки. Поэтому мониторинг за вертикальными смещениями элементов строительной конструкции должен предусматривать совместное измерение осадки и деформации. Необходима методика наблюдений: «осадка + деформация», потому что, если есть смещения, то важно понимать, это осадка или это деформация, или это их совместное проявление. Покажем это на примере мониторинга рассматриваемого нами вертикального металлического стержня, жестко закрепленного в верхнем и нижнем основании. Во всех случаях происходит

осадка массива, на котором закреплено нижнее основание стержня. Воздействие на стержень проявляется в виде силы \vec{F} (рис. 1, в [1]).

²⁾ Существует большое количество датчиков, классифицируемых по разным признакам, однако, не выбирая какой-то конкретный тип датчика, здесь мы приводим обобщенные значения с целью показать возможность измерения малых деформаций с обозначенной в начале статьи точностью.

На стержне с помощью точечной сварки закреплен тензометрический датчик. В верхнем основании стержня закреплена осадочная марка, отметка которой определяется нивелиром. Обратим внимание на то, что, если закрепить марку в другом месте, она окажется в зоне деформации.

Возможны следующие варианты происходящих процессов.

1. Пусть измерения на осадочную марку показывают, что осадка происходит, а датчик деформации показывает, что деформации нет. Это означает, что верхнее основание стержня свободно, без сопротивления опускается под действием силы \vec{F} вслед за нижним основанием. В таком случае стержень смещается в целом, но не деформируется.

Отметка осадочной марки может быть определена цифровым нивелиром с одной станции коротким лучом с точностью $0,030 \div 0,050$ мм.

2. Пусть измерения на осадочную марку показывают, что осадки, т.е. смещения стержня в целом нет, а датчик деформации показывает, что происходит растяжение стержня. Это означает, что верхнее основание стержня неподвижно, а опускается массив с нижним основанием, растягивая стержень. В таком случае стержень в целом не смещается, а деформируется.

Точность измерения деформации показана выше.

3. Пусть измерения показывают, что происходит одновременный процесс осадки и деформации. Это означает, что верхнее основание стержня сопротивляется действию силы \vec{F} , но всё же смещается на какую-то величину, а стержень растягивается на какую-то величину под действием силы.

Точность измерения смещения и деформации должна быть синхронизирована и сопоставима.

Выводы. Расчет показывает, что точность измерения деформации растяжения низкоуглеродистой стали очень высокая и может ещё больше увеличиться для металлов повышенной прочности и с другой (менее выраженной) диаграммой растяжения. Но современные устройства позволяют измерять деформации с такой точностью. Такие устройства в виде сетей датчиков деформации включаются в общую систему геодезического мониторинга.

Конструкции инженерных сооружений претерпевают как постоянные, так и изменяющиеся силовые и температурные воздействия. Силовые воздействия происходят в виде так называемых распределённых и сосредоточенных сил, характеризующихся векторами разной направленности, модуля и точки приложения. Температурные воздействия происходят в зонах и ареалах нагрева/охлаждения. Силовые и температурные воздействия вызывают изменения размеров и форм элементов конструкции. Если воздействия неравномерные, то и деформации сложные. В результате деформаций они могут растягиваться или сжиматься,

сдвигаться, изгибаться, закручиваться, изменяя свое пространственное положение. Поэтому в системе геодезического мониторинга важен выбор места закрепления датчиков, расположение и ориентация их на/в элементе, расстояния между ними, чтобы видеть картину деформации элемента в целом и оценивать происходящие смещения.

³⁾ О других воздействиях смотри [7].

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Исаев А.П.* Принципы измерения осадки статически неопределимых конструкций (на примере прямолинейного вертикального стержня) / А.П. Исаев, Р.В. Шульц, Ю.Ф. Гуляев, В.С. Стрилец // *Інженерна геодезія: наук.-техн. зб.* – К.: КНУБА, 2017. – Вип. 64. – С. 55-66.

2. *Інженерный справочник: стали по ГОСТ, классификация, свойства.* Режим доступа:

<https://dpva.ru/Guide/GuideMatherials/Metalls/SteelsAndSteelAlloys/SteelsToGostClassification/SteelsToGostClassificationPrint/>.

3. *Студопедия: диаграмма растяжения стали марки Ст3.* Режим доступа: https://studopedia.su/19_95574_diagramma-rastyazheniya-stali-marki-st.html.

4. *Электронная электротехническая библиотека.* Режим доступа: http://www.electrolibrary.info/subscribe/sub_16_datchiki.htm.

5. *Датчики деформации (экстензометры).* Режим доступа: http://www.devicesearch.ru.com/article/datchiki_deformacii.

6. *ТМГ. Цифровой тензодатчик деформации.* Режим доступа: <http://www.ntpgorizont.ru/product/tmg-d01>.

7. *Исаев А.П.* Особенности геодезического мониторинга разных строительных конструкций / А.П. Исаев, Ю.Ф. Гуляев, П.А. Чуланов // *Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. зб.* – К.: КНУБА, 2019. – Вип. 70. – С. 230-240.

REFERENCES

1. Isayev A.P., Shul'ts R.V., Gulyayev YU.F., Strilets V.S. (2017). Printsipy izmereniya osadki staticheski neopredelimykh konstruksiy (na primere pryamolineynogo vertikal'nogo sterzhnya) [Principles of measuring the settlement of statically indeterminate structures (by the example of a straight vertical bar)]. *Inzhenerna heodeziya - Engineering geodesy*, 64, 55-66 [in Ukrainian].

2. *Inzhenernyy spravochnik: stali po GOST, klassifikatsiya, svoystva.* Retrived from:

<https://dpva.ru/Guide/GuideMatherials/Metalls/SteelsAndSteelAlloys/SteelsToGostClassification/SteelsToGostClassificationPrint/>.

3. *Studopediya: diagramma rastyazheniya stali marki St3.* Retrived from: https://studopedia.su/19_95574_diagramma-rastyazheniya-stali-marki-st.html.

4. *Elektronnaya elektrotekhnicheskaya biblioteka.* Retrived from: http://www.electrolibrary.info/subscribe/sub_16_datchiki.html.

5. *Datchiki deformatsii (ekstenzometry).* Retrived from: http://www.devicesearch.ru.com/article/datchiki_deformacii

6. TMG. Tsifrovoy tenzodatchik deformatsii. Retrived from: <http://www.ntpgorizont.ru/product/tmg-d01/>

7. Isayev A.P., Gulyayev YU.F., Chulanov P.A. (2019). Osobennosti geodezicheskogo monitoringa raznykh stroitel'nykh konstruktsiy [Features of geodetic monitoring of various building structures]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban and territorial planning*, 70, 230-240 [in Russian].

О.П. Исаев, Ю.Ф. Гуляев, В. С. Стрелец, П.О. Чуланов
ОЦІНКА МОНІТОРИНГУ ПРОЦЕСУ ДЕФОРМАЦІЇ ТА
ОСІДАННЯ ПРЯМОЛІНІЙНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО СТЕРЖНЯ

На прикладі вертикального стержня з низьковуглецевої сталі, який жорстко закріплений і деформується в результаті осідання нижньої основи, зроблений розрахунок точності вимірювання деформації розтягування за умови, що вона дозволить відстежити межі пружності. Показана можливість вимірювання деформації за допомогою тензометричних датчиків. Розглянуто питання моніторингу такої конструкції.

Ключові слова: деформація, осідання, напруження, межа пружності, вертикальний металевий стержень, точність вимірювань, датчики деформації, геодезичний моніторинг.

O. Isayev, Yu. Gulayev, V. Strilets, P. Chulanov
EVALUATION OF MONITORING THE PROCESS OF DEFORMATION AND
SEDIMENTATION OF A RIGHT LINE VERTICAL ROD

Elements of building structures (EBS) undergo various kinds of deformation as a result of force and temperature effects. As long as the deformations are within the design values, they are not terrible for the structures of the structure, however, if they exceed the permissible values, then there may be a danger of their operation. Therefore, many large, complex, critical structures are constantly monitored by engineering geodesy methods and using sensors of deformations, displacements, tilts, etc.

On the example of a vertical rod made of low-carbon steel, which is rigidly fixed and deformed as a result of subsidence of the lower base, the calculation of the accuracy of measuring the tensile strain is calculated, provided that it allows you to track the elastic limits.

The calculation shows that the accuracy of measuring the tensile deformation of low-carbon steel is very high and can increase even more for metals of increased strength and with a different (less pronounced) tensile diagram. But modern devices can measure deformations with such precision. Such devices in the form of strain gauge networks are included in the general geodetic monitoring system.

Keywords: deformation, sediment, stress, elastic limit, vertical metal rod, measurement accuracy, strain gauges, geodetic monitoring.

В. К. Чибіряков, д.т.н., професор,
В. С. Староверов, канд. техн. наук, професор,
К. О. Нікітенко, асп. кафедри інженерної геодезії
Київський національний університет будівництва та архітектури

МОДЕЛЮВАННЯ ТОЧНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ПРИ ПРОВЕДЕНІ МОНІТОРИНГУ СТАНУ МАГІСТРАЛЬНИХ ГАЗОПРОВОДІВ

У статті виконаю перехід від параметрів напружено-деформованого стану трубопроводу до моделювання точності геодезичних спостережень за переміщенням газопроводу. Запропоновано формули для переходу та для розрахунку середньоквадратичних похибок вертикальних та горизонтальних переміщень трубопроводу.

Встановлено функціональну залежність між значенням середньо квадратичної похибки моделювання величини переміщення та середньо квадратичною похибкою значення приросту моменту при моделюванні напружено - деформованого стану системи. Крім того, проаналізовано літературу, що підтверджує відсутність вітчизняних нормативних документів, що регламентують порядок, склад і точність геодезичних робіт для контролю стану підземних газопроводів.

Експериментально підтверджено вплив ґрунтового масиву на положення трубопроводу. Подібний системний підхід дозволяє виявити, спростувати чи підтвердити характер впливу зміни (варіації) фізико-механічних показників на результати чисельного моделювання, на яких виконується розрахунок точності виконання геодезичних робіт, стосовно виявлення та попередження розвитку деформацій трубопроводів.

Ключові слова: *напружено-деформованого стану, газопровідна система, геодезичний моніторинг, моделювання точності.*

Вступ. Різноманіття експлуатаційних дефектів, що розвиваються внаслідок корозійних процесів, впливу перепадів тиску і температури, переміщень ґрунту і інших динамічних навантажень, призводить, незважаючи на вжиті заходи щодо забезпечення безпечної експлуатації газопроводів, до нештатних ситуацій (витоків газу, вибухів, пожеж і т.п.) Все це вимагає застосування комплексу геодезичних методів і систематичного моніторингу газопровідної системи.

Для оцінки ресурсу газопроводів, які тривалий час перебувають в експлуатації, необхідно достовірно визначити напружено-деформований стан магістрального газопроводу та вдосконалити інженерно-геодезичні методи спостереження за магістральними газопроводами. Тобто, першочерговою задачею є визначення параметрів напружено - деформованого стану трубопроводу, потім виконати перехід до точності геодезичних спостережень як за вертикальними переміщеннями, так і вздовж трубопроводу.

Отже, актуальним завданням є моделювання точності геодезичних спостережень за технічним станом потенційно небезпечних ділянок газопроводу, що є основою їх безпечного функціонування.

Аналіз досліджень та публікацій. Проблематикою контролю деформацій газопроводів геодезичними методами та питаннями, що забезпечують експлуатаційну надійність функціонування газотранспортної системи описані в публікаціях Гуляєва Ю. П., Перовича Л. Н., Перуна Й. В., Хренова Н. Н., Швердина П., Рудкова В. П., Субботина І. Е та інші автори.

З питань контролю напружено-деформованого стану трубопроводу при зміні його просторового положення, дослідження поздовжньо-поперечного згину та іншим технологічним питанням присвячені роботи Шлапака Л. С., Шацкого І. П., Антановича П.Б., Бородавкіна П. П., Березина В. Л., та ін.авторів. Проте, інформація про визначення точності геодезичних спостережень за переміщенням газопроводу в ґрунтовому масиві, тобто взаємодію ґрунтової основи і характеристиками трубопроводу практично відсутня.

Актуальним залишається вдосконалення методик оцінки технічного стану трубопроводів та моделювання геодезичної точності спостережень при проведенні їх моніторингу.

Постановка завдання. Метою роботи є моделювання точності геодезичних спостережень при проведенні моніторингу стану магістральних газопроводів.

Основна частина. Однією з найважливіших завдань, що виникають при експлуатації таких технічно складних об'єктів, як газопроводи, є управління їх цілісністю, в зв'язку з чим серйозну увагу приділяють обґрунтуванню точності геодезичних спостережень при їх експлуатаційному моніторингу.

Основним методом діагностичного обслуговування лінійної частини магістрального газопроводу є визначення напружено-деформованого стану (НДС) газопроводу. Для обґрунтованого дослідження НДС газопроводу необхідно виконати огляд існуючих методів і програмних забезпечень, приладів для визначення НДС трубопроводів та розробити математичні моделі процесу техногенного впливу (ґрунтового масиву) на трубопровід, що виконано в попередніх статтях [1; 2].

Точність геодезичних робіт встановлюють на основі величини можливих вертикальних зміщень осі газопроводу, при згині. У свою чергу, значення зміщення осі визначають судячи з результатів дослідження НДС газопроводу. Розрахунок НДС магістрального газопроводу в лінійній постановці в загальному випадку складається з двох етапів. На першому етапі розв'язується задача про згин газопроводу під дією поперечного навантаження. На другому етапі проводиться розрахунок газопроводу на поздовжні навантаження.

На основі математичних моделей проведено комплексне (аналітичне та чисельне) дослідження НДС трубопроводу, та визначено величину прогину газопроводу, що характеризує граничний стан конструкції, тобто гранично допустимі деформації положення газопроводу.

Така методологія дозволяє прогнозувати вплив небезпечних геологічних процесів на газопровід і дозволяє розробити рекомендації та обґрунтувати

точність виконання геодезичних робіт, тобто моделювання точності на такому рівні, який забезпечує фіксацію деформацій конструкції та ґрунтового масиву

Для встановлення взаємозв'язку розподілу вертикальних переміщень трубопроводу з ґрунтовим навантаженням по всій обчислювальній ділянці [3] існує функціональна залежність:

$$S = f(x) \quad (1)$$

де S – вертикальне переміщення в точці x .

З рівняння (1), що є результатом взаємодії моделі «трубопровід – ґрунт», можна визначити всі статичні величини, тобто виконати контроль НДС ґрунтового середовища в місці можливого виникнення небезпечних геологічних процесів, таких як просадки, пучення, зрушення ґрунту на зсувних ділянках, можливість обводнення та інші, уздовж траси лінійної частини газопроводу.

Побудуємо криву отриманих результатів переміщень з результатів обчислення за допомогою програми, що реалізує чисельний розрахунок НДС моделі трубопроводу побудованого за допомогою сучасних розрахункових методів будівельної механіки (крива прогину 1) та криву (2), яку б отримали б в результаті геодезичних спостережень за контрольними точками (1, 3, 5, 7, 9, 11, 15, 17, 19, 21), що будуть визначені з похибкою m (рис.1).

Будується теоретична крива переміщення 2 (рис. 1), таким чином, що в кожній точці визначення величини переміщення відкладається похибка моделювання. Вважається, що найгірший варіант розподілу випадкових похибок буде, якщо вони в кожній точці визначення величини переміщення змінюватимуть знак на протилежний (як показано на рисунку 1, $\pm m_w$). Теоретична крива 2 відображає величину гіпотетичного переміщення (прогину 1) з урахуванням похибок моделювання. Теоретична крива 3 – апроксимуюча кривої 1 і вибрана квадратичною параболою.

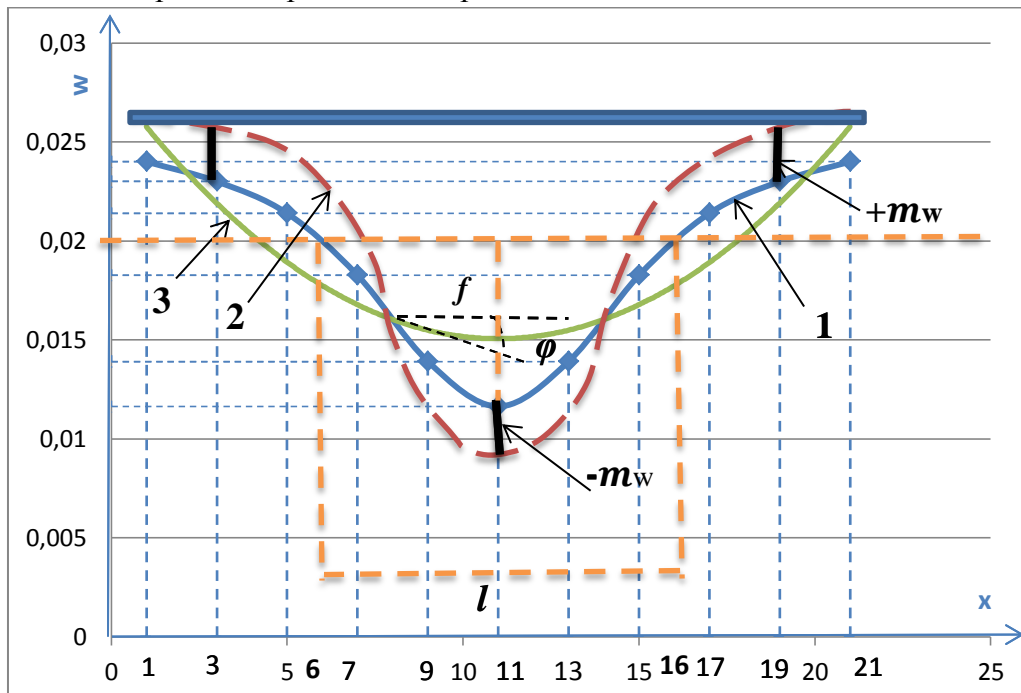


Рис.1. Графік розрахункового прогину та прогину, що спостережено

Пружний вигин газопроводу (зміна геометрії) в результаті впливу зовнішніх сил, в тому числі реакції ґрунту, викликає напруження, які спрямовані вздовж осі споруди і мають різні величини на стінках газопроводу [4].

Поздовжні сили N , [Н], визначаються за диференціальними співвідношеннями з урахуванням систематичної похибки:

$$\begin{aligned} \frac{dU}{dx} &= \frac{N}{EF}; \\ N &= EF \frac{dU}{dx} \end{aligned} \quad (2)$$

А згинаючий моменти M , [кНм] :

$$\begin{aligned} \frac{dw}{dx} &= \varphi; \\ \frac{d\varphi}{dx} &= \frac{d^2w}{dx^2} = -\frac{M}{EI}; \\ M &= -EI \frac{d^2w}{dx^2}, \end{aligned} \quad (3)$$

де E – модуль деформації балки; I – момент інерції площини відповідного поперечного перерізу.

Як бачимо, рівняння (3) описує математичний зв'язок між теоретичною кривою осідання та моментом, тобто величинами відхилення осі газопроводу від проектного положення і величиною зовнішнього навантаження, отриманої з аналізу напружено-деформованого стану вибраної розрахункової моделі.

Очевидно, що похибка згинаючого моменту, отримана в результаті спостережень за марками, має випадковий характер, тобто поява $+m_w$ або $-m_w$ рівно можливі, в зв'язку з цим похибка переміщення трубопроводу буде більшою, якщо відстань між контрольними точками (репери) буде більшою.

Знайдемо першу та другу похідну по x в співвідношеннях (3):

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi}{dx} &= \frac{d\varphi}{dx} \frac{dw}{dx} = \cos\varphi \frac{dw}{dx}, \\ \frac{d^2\varphi}{dx^2} &= \frac{d}{dx} \left(\frac{d\varphi}{dx} \right) = \frac{d}{dx} \left(\cos\varphi \frac{dw}{dx} \right), \end{aligned} \quad (4)$$

де φ – кут повороту поперечного перерізу, або кут повороту дотичної до зігнутої осі в даній точці (рис.1):

$$\varphi = \arctg \frac{dw}{dx}; \quad tg\varphi = \frac{dw}{dx}; \quad \cos\varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + tg^2\varphi}}. \quad (5)$$

Виконується апроксимація змодельованої кривої переміщення за допомогою косинусоїди.

Оскільки, апроксимуюча крива 3 описується квадратичною параболою в системі координат, яка показана на (рис. 2), то вона буде визначатися таким рівнянням:

$$y = \frac{4f}{l^2} x(l-x) = \frac{4f}{l^2} (xl - x^2); \quad (6)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{dw}{dx} = \frac{4f}{l^2} (l - 2x). \quad (7)$$

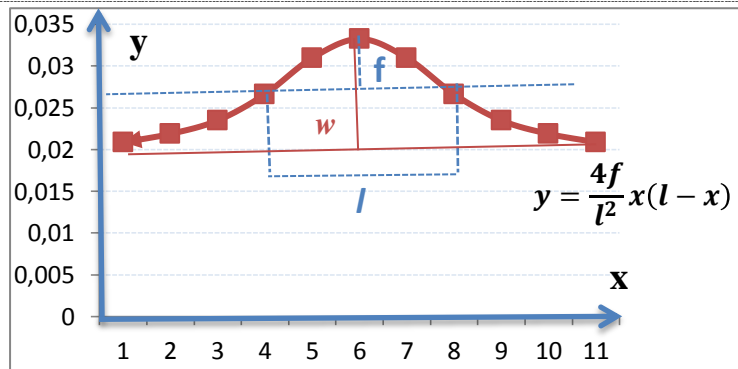


Рис.2. Квадратична парабола

Підставимо рівняння (3.17) у вираз (3.15):

$$\cos\varphi = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{16f^2}{l^4} (l - 2x)^2}} \quad (8)$$

Друга похідна рівняння (7) буде мати вигляд:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{8f}{l^2},$$

тоді

$$\frac{d\varphi}{dx} = \frac{1}{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \frac{d^2y}{dx^2} = \cos^2\varphi \frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{8f}{l^2} \cos^2\varphi, \quad (9)$$

де l – довжина розрахункової ділянки, в межах якої досліджується небезпечний процес. В нашому випадку це довжина між контрольними точками 6 та 16. Оскільки обчислювальна ділянка 50м, а контрольних точок 20, то відстань між ними 2,5м, то будемо мати : $l=10 \cdot 2,5м=25м$.

Відповідно рівняння (4) з урахуванням співвідношення (9) буде таким:

$$\begin{aligned} \frac{d^2\varphi}{dx^2} &= \frac{d}{dx} \left(\frac{d\varphi}{dx} \right) = \frac{d}{dx} \left(\cos\varphi \frac{dw}{dx} \right) = \cos\varphi \left(-\sin\varphi \frac{d\varphi}{dx} \frac{dw}{dx} + \cos\varphi \frac{d^2w}{dx^2} \right) = \\ &= \cos^2\varphi \left(\sin 2\varphi \frac{4f}{l^2} \frac{dw}{dx} + \frac{d^2w}{dx^2} \right). \end{aligned} \quad (10)$$

Перейдемо до похідних в рівняннях (2) та (3):

$$N = EF \cos\varphi \frac{dU}{dx}; \quad (11)$$

$$M = -EI \cos^2\varphi \left(\sin 2\varphi \frac{4f}{l^2} \frac{dw}{dx} + \frac{d^2w}{dx^2} \right). \quad (12)$$

Як видно з рис.1 крива прогинів 3 характеризує похибку визначення геодезичних робіт в точках 3,11,19..., а спостережувальна крива $w(x)$ буде апроксимуюча крива 2 (дійсне переміщення) описується функцією косинусів, а саме:

$$w = a \cos b x. \quad (13)$$

Параметри рівняння (13) a і b є коефіцієнтами апроксимуючої кривої, і визначають хід кривої уздовж осі x . Максимальне значення прогину буде в точках 3,11,19 і буде рівним $w_1 = -w_2 = w$.

Знайдемо першу і другу похідні від функції w , буде мати вигляд:

$$\frac{dw}{dx} = -absinbx; \frac{d^2w}{dx^2} = (a \cdot \cos(b \cdot x))' = -b^2w . \quad (14)$$

Оскільки амплітуда кривої апроксимації характеризує величину середньої квадратичної похибки моделювання величини переміщення, то друга похідна від функції $\frac{d^2w}{dx^2}$ буде характеризувати середня квадратична похибка визначення гіпотетичного приросту моменту при моделювання НДС системи (похибці моделювання величини переміщення відповідає конкретний приріст величини моменту).

Підставимо в рівняння (12) значення першої та другої похідної прогинів трубопроводу, і отримаємо приріст моментів:

$$\Delta M = EI \cos^2 \varphi \left(-\sin 2\varphi \frac{4f}{l^2} ab \sin bx - b^2 w \right), \quad (15)$$

де f - прогин трубопроводу.

Якщо $\max \left| \frac{dw}{dx} \right| = a$, а $\sin bx = 1$, то будемо мати найбільший приріст:

$$\Delta M = EI \cos^2 \varphi \left(-\sin 2\varphi \frac{4f}{l^2} wb - b^2 w \right). \quad (16)$$

Параметр b характеризує частоту повторень косинусоїди, і визначається:

$$b = \frac{\pi}{l_s}, \quad (17)$$

де l_s - довжина між контрольними точками.

Найгірший випадок, коли в контрольних точках обчислювання переміщення, прогин дорівнює похибці геодезичних робіт, $w = m_w$.

Точність геодезичного контролю за переміщенням визначатиметься за формулою [5]:

$$m_w = 0,2 \cdot w,$$

де 0,2 – коефіцієнт переходу від величини допустимого переміщення до середньої квадратичної похибки, w – величина допустимого переміщення трубопроводу.

Виконаємо заміну $\frac{m_w}{0,1} = w$, тоді повне рівняння визначення похибки приросту згинаючого моменту буде:

$$m_{\Delta M} = EI \cos^2 \varphi \left(-\sin 2\varphi \frac{4f}{l^2} \frac{m_w}{0,2} \frac{\pi}{l_s} - \frac{\pi^2}{l_s^2} \frac{m_w}{0,2} \right), \quad (18)$$

де $m_{\Delta M} = 0.2 \cdot \Delta M$; $w_{\text{фак}} = w - w_6$ – максимальна стріла підйому параболи другого порядку по осі симетрії; w – величина обчислювального прогину (обчислений з методу визначення НДС); w_6 – величина прогину в 6 точці.

Вирішивши рівняння (18) відносно похибки геодезичних робіт у вертикальній площині будемо мати:

$$m_w = \frac{m_{\Delta M}}{EI \cos^2 \varphi \left(\sin 2\varphi \frac{4f}{l^2} \frac{\pi}{l_s} + \frac{\pi^2}{l_s^2} \right)}. \quad (19)$$

Таким чином встановлено функціональну залежність між значенням середньо квадратичної похибки моделювання величини переміщення m_w та середньо квадратичною похибкою значення приросту моменту $m_{\Delta M}$, що їй відповідає.

Результати розрахунків за наведеною формулою, а також практичний досвід роботи з обстеження технічного стану газопроводів дозволяють зробити

висновок про те, що геодезична зйомка цих конструкцій в практичних умовах може бути проведена з точністю до 3 мм, при цьому в разі складної геометрії ділянки газопроводу похибка може вирости до 13 мм і більше.

На рис.3 показано переріз трубопроводу та опірність балки, що характеризує напруження залежно від форми і розмірів його поперечного перерізу. Це дає змогу визначати величини найбільших нормальних (при згині) і дотичних (при крученні) напружень.

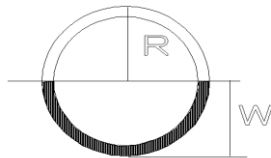


Рис.3. Переріз трубопроводу, де
 W - момент опору того перетину, в якому діє;
 R – радіус трубопроводу.

Необхідна точність геодезичних робіт для моніторингу положення трубопроводу пов'язана з допустимим рівнем напружено-деформованого стану трубопроводу. Оскільки, нами визначено σ - повне деформаційне напруження, що становить $\sigma = 254,441 \text{ МПа}$, то момент і нормальна сила будуть:

$$M_{\max} = \sigma W; N_{\max} = \sigma F, \quad (20)$$

де $W = \frac{I}{R}$ - момент опору перетину, а $F = \delta D \pi$ – поперечний переріз.

Принцип обґрунтування точності геодезичного контролю базується на необхідності отримання вимірних величин деформацій із заданою ймовірністю, з врахуванням будівельних допусків і забезпечення різного порядку величин деформацій і похибок їх визначення. Точність спостережень змінюватиметься в залежності від ступеня наближення контролюючих параметрів деформацій до їх допустимих значень – чим ближче допустиме значення, тим точніший контроль.

Очевидно, що середня квадратична похибка визначення моменту ΔM залежить від середньої квадратичної похибки моделювання величини переміщення, але жодним чином не пов'язана з гранично допустимим значенням моменту для відповідної конструкції. Тому необхідно визначити середню квадратичну похибку визначення приросту моменту через допустиме граничне значення приросту експлуатаційного моменту (через максимальний експлуатаційний момент, після якого конструкція вважається непридатною для подальшої експлуатації).

Розглянемо ситуацію, коли в фундаментній конструкції передбачено експлуатаційне значення моменту. Відомо, що всі будівельні конструкції проектуються із запасом конструктивних властивостей (враховуються коефіцієнти надійності та інше). З техніко-економічних причин ця величина становить приблизно 20% - 30% (20% від M_{\max}). Це означає, що при розрахунку, на 20% підвищено значення розрахункового моменту, що згинає трубопровід.

Необхідно з'ясувати – якою має бути відстань між марками та якою має бути точність виконання геодезичного моніторингу, щоб заздалегідь виявити

розвиток гранично допустимого приросту напруження в конструктивному елементі. Для визначення середньої квадратичної похибки визначення граничного приросту ΔM_{max} скористаємось виразом:

$$\begin{aligned}\Delta M_{max} &= 0,2M_{max}; \\ \Delta N_{max} &= 0,2N_{max}.\end{aligned}\quad (21)$$

Виконаємо розрахунок за формулами (20) та (21) за такими вихідними даними:

$$\begin{aligned}\sigma &= 254.441 \cdot 10^3 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}; \quad W = \frac{0.199\text{м}^4}{0.71\text{м}} = 0,281\text{м}^3; \quad E = 2.1 \cdot 10^8 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}; \\ I \cdot E &= 0,4091 \cdot 10^7 \text{кНм}^2; \quad F = 3.14 \cdot 1.42 \cdot 0.018 = 0.080\text{м}^2; \\ M_{max} &= 7.15 \cdot 10^4 \text{кНм}; \quad N_{max} = 2.04 \cdot 10^4 \text{кН}; \\ \Delta M_{max} &= 1.43 \cdot 10^4 \text{кНм}; \quad \Delta N_{max} = 0.408 \cdot 10^4 \text{кН}.\end{aligned}$$

Задачею геодезичних спостережень за переміщенням трубопроводу є спостереження з рівнем НДС трубопроводу та за тим, щоб додаткове навантаження ґрунту та виміри, обумовлені похибками спостережень, не перевищували допустимі навантаження у відповідних контрольних точках.

Необхідно встановити зв'язок між точністю геодезичних вимірів та рівнем допустимих похибок визначення характеристик напружено-деформованого стану трубопроводу.

Газопроводи, прокладені в гірських умовах, часто піддаються силовому впливу зсувів та інших силових факторів, що призводить до зміни їх НДС по відношенню до проектного і виникненню аварійних ситуацій. Існують два виду силового впливу зсуву ґрунту на газопровід (поздовжнє і поперечне).

Силовий вплив зсуву має є додатковим (місцевим) поперечним навантаженням, що знаходиться під дією багатofакторних експлуатаційних навантажень газопроводу і сприяє вигину труби. Вигин газопроводу призводить до збільшення його довжини, яке супроводжується силами тертя труби об ґрунт, що, в свою чергу, викликає сили, що розтягують газопровід [6]. Тому, необхідно визначити точність геодезичних робіт у поздовжньому напрямку переміщення газопроводу.

Оскільки, в перших чотирьох математичних моделях відсутні повздовжні переміщення, то розрахуємо для інших математичних моделях 5,6,7, де є характерне експлуатаційне значення поздовжніх зсувних зрушень ґрунту. Для перших чотирьох математичних моделей горизонтальне переміщення не є суттєвим, тому було взято мале значення розподільного навантаження q та коефіцієнт опору деформації. Запропонований метод розрахунку враховує вигин газопроводу (поперечні зсувні зрушення ґрунту), пластичний зв'язок газопроводу з ґрунтом, а також той факт, що при переміщеннях ґрунту одна частина газопроводу розтягнута, а інша - стиснута. Тобто даний метод дає можливість не міряючи, отримати прогнозуєчі переміщення.

Необхідно зауважити, що нами враховано не значний коефіцієнт опору деформації, тобто взято лише незначні дані зразка ґрунтової основи, і вони є значно менші ніж реальна зміна модуля деформації ґрунтової основи вздовж обчислювальної ділянки. Це свідчить про те, що чим менший коефіцієнт опору деформації тим більше горизонтальне переміщення. Тоді, враховуючи той факт,

що зсув трубопроводу та зсув ґрунтового масиву переміщуються одночасно і на одну й ту саму величину, то середнє квадратичне значення горизонтального переміщення визначатися за такою ж методикою, а саме:

- визначається приріст нормальної сили рівняння (21):

$$\Delta N_{max} = 0.408 \cdot 10^4 \text{кН};$$

- знаходять похідні рівняння $U = a \cos bx$:

$$\frac{dU}{dx} = -absinbx;$$

- підставляється отриманий вираз в рівняння (11) :

$$\Delta N = -EF \cos \varphi absinbx;$$

- виконуємо заміну $\max \left| \frac{dU}{dx} \right| = a = m_u$, а $\sin bx = 1$, $\Delta N_{max} = 0,1 \cdot m_{\Delta N_{max}}$,

$$\frac{\pi}{l_s} = b;$$

- визначаємо середню квадратичну похибку поздовжнього переміщення:

$$m_u = \frac{m_{\Delta N_{max}} l_s}{EF \cos \varphi \pi}; \quad (22)$$

- з рівняння (22) визначимо відстань між контрольними марками на схилі:

$$l_s = \frac{m_u EF \cos \varphi \pi}{m_{\Delta N_{max}}}. \quad (23)$$

В нашому випадку, для перших 4 моделей, при $m_{\Delta N_{max}} = 4,08 \cdot 10^4 \text{кН}$, $EF = 0,168 \cdot 10^4 \text{кН}$, $m_u = 7,7 \text{мм}$, відстань між марками $l_s \approx 9,9 \text{м}$.

Отже, для таких умов відстань між контрольними точками (марками) повинна бути не меншою 10м, тобто похибка визначення статичних величин в даний час, не буде перевищувати допустимих значень.

Розрахунок переміщення газопроводу в зоні зсуву ґрунту являє собою непросту задачу, і таке завдання не може бути вирішено аналітичними методами, оскільки все вказує на складну взаємодію підземного газопроводу з зсувним ґрунтом. Крутий схил на початку ділянки може призвести до зміщення ґрунту паралельно осі газопроводу. У середній частині можливі поздовжні переміщення і прогини труби.

Залежно від експлуатаційних навантажень (тиску, температурного перепаду) і ступеня силового впливу зсуву газопровід може або розтягуватися, або стискатися, або на одній ділянці розтягуватися, а на іншому - стискатися.

Такі деформації разом з вагою самого газопроводу, продукту і ґрунту, що знаходиться на трубі, впливають на його прогин. А додаткове навантаження, що виникає внаслідок зсуву ґрунту, призводить до виникнення внутрішніх зусиль (поздовжніх зусиль і перерізують сил). Враховано, що зміщення ґрунту по схилу при обвалі мають або пружний, або пружно-пластичного, або пластичний характер.

Зсувні зрушення на поздовжніх ухилах можуть бути:

1) значними при переході маси ґрунту, що вміщує газопровід, в граничний напружений стан;

2) незначними, якщо вони мають пружний характер [7].

Для наших розрахункових моделей будемо використовувати такі вихідні дані: $EI = 0.4091 \cdot 10^7 \frac{\text{кН}}{\text{м}^2}$; $l = 25\text{м}$; $l_s = 10\text{м}$.

Вихідні дані

Таблиця 1

w , мм	w_6 , мм	f , мм	φ	φ , рад	$\cos^2 \varphi$	$\sin 2\varphi$
12,0	20,000	8,0	0,00063	0,03591	0,53591	0,00125
33,0	29,000	4,0	0,0008	0,0456	0,5912	0,00157
15,5	7,800	7,7	0,00009	0,00513	0,50513	0,000179
10,2	7,500	2,7	0,00009	0,00513	0,50513	0,000179
20,2	15,200	5,0	0,00009	0,00513	0,50513	0,000179
85,0	82,000	3,0	0,00027	0,01539	0,51539	0,000537

Отримано наступний результат, що занесено до табл. 2.

Похибки геодезичних робіт у вертикальному напрямку

Таблиця 2

Розрахункова модель	Прогин, мм	Похибки геодезичних робіт, мм
		Довжина ділянки 50 м
		m_w , мм
2 - западини в ґрунті	11,64	2,47
3 - ґрунтовий масив представлений у вигляді насипу	33,00	4,95
4 - мульда замочування	15,50	2,64
5 - має кут нахилу+1 модель	10,26	0,73
6 - має кут нахилу+2 модель	20,26	3,96
7 - обвал	84,60	6,00

Таким чином, якщо параметри ґрунтової основи недостатньо вивчені чи змінюються з часом, то змодельоване значення гіпотетичного переміщення варіюватися в межах від 85 мм до 10 мм (при зменшенні модуля деформації) та від 1мм – 13 мм (при збільшенні модуля деформації).

Таблиця 3

Похибки геодезичних робіт у горизонтальному напрямку

Розрахункова модель	значення горизонтального переміщення, U , мм	СКП горизонтального переміщення, мм	відстань між контрольними точками, м
		m_u	l_s
5 - має кут нахилу +1 модель	18	6.00	8
6 - має кут нахилу +2 модель	28	9.33	12
7 - обвал	98	32.0	4

Висновки. Аналізуючи результати обчислень можна сказати, що рішення за такою методикою та математичним модулюванням, що будується з використанням рівнянь поздовжнього і поперечного переміщення, що виникають в газопроводі від ступеня силового впливу зсуву та досліджує роботу газопроводу на розрахункових ділянках, рівних довжині зсуву, дає можливість визначити середню квадратичну похибку геодезичних робіт. А також продемонструвати, що умови защемлення на кінцях газопроводу, що знаходиться в зоні зсуву, впливають на стійкість споруди. Відповідно до таких умов відстань між контрольними точками (маркерами) може бути збільшена від 8м до 12м, при величині переміщення 18мм та 28мм.

Очевидно, що за таких умов середня квадратична похибка виконання геодезичних робіт залежить від гранично допустимого приросту моменту конструкції та від обґрунтованої за виразом (23) відстані між реперами. Тобто, теоретично отриманий зв'язок між НДС трубопроводом та ґрунтовим масивом, але аналізуючи величини середніх квадратичних похибок горизонтальних переміщень, можна сказати, що можна виконувати спостереження з більшою точністю ніж отримані результати. Отримана точність визначення приросту переміщення дозволяє визначити статичний стан споруди за результатами геодезичних спостережень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Чибіряков В.К.* Дослідження точності геодезичних спостережень стану магістрального газопроводу на основі визначення напружено-деформованого стану при спільних деформаціях розтягу – стиснення та прогину його осі / Чибіряков В.К., Староверов В.С., Нікітенко К.О. // Містобудування та територіальне планування: Нак.-техн.збірник / Відпов. ред. М.М. Оссетрін. – К., КНУБА, 2014. – Вип.51. – С. 688-698.
2. *Чибіряков В.К.* Загальний підхід до моделювання напружено-деформованого стану магістрального газопроводу для визначення геодезичної точності вимірювання / Чибіряков В.К., Староверов В.С., Нікітенко К.О. // Інженерна геодезія: Нак.-техн.збірник – К., КНУБА, 2016. – Вип.63. – С. 14-19.
3. *Староверов В. С.* К определению точности и периодов наблюдений осадок инженерных сооружений. // Инж. геодезия .-1978.-Вип. 32.- С. 57-61.
4. *Чибиряков В. К.* Определение точности геодезических работ при монтаже арочных конструкций мостовых переходов./ В. К. Чибиряков, В. С. Староверов, А. В. Адаменко / Містобудування та територіальне планування: Нак.-техн.збірник / Відпов. ред. М.М. Оссетрін. – К., КНУБА, 2017. – Вип.63. – С. 475-478
5. *Левчук Г.П.* Прикладная геодезия / Г. Левчук, В. Новак. – М.: Недра, 1981. – 437 с.
6. *Перун И. В.* Магистральные трубопроводы в горных условиях [Текст] / И. В. Перун. – М.: Недра, 1987. – 175 с.
7. *Бородавкин П. П.* Подземные магистральные трубопроводы. Проектирование и строительство / П. П. Бородавкин. – М.: Недра, 1982. – 384 с.

REFERENCES

1. Chibiryakov V.K., Staroverov V.S., Nikitenko K.A. (2014). Doslidgennya tochnosti geodezicheskikh sposteredgen stanu magistralnogo gazoprovodu na osnovi vuznachennya naprudgeno-deformovanogo stanu pru spilnuh deformatsiyah roztyagu – stusnennya ta progunu yogo osi [Investigation of the accuracy of geodetic observations of the state of the main gas pipeline based on the determination of the stress-strain state at joint deformation of the tension - compression and deflection of its axis]. - *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban and territorial planning*, 51, 688-698. [in Ukrainian].
2. Chibiryakov V.K., Staroverov V.S., Nikitenko K.A. (2014). Zagalnuj pidhid do modeluvannya naprudgeno-deformovanogo stanu magistralnogo gazoprovodu dlya vuznachennya geodezicheskoi tochnosti vumiruvannya [General approach to modeling the stress-strain state of a pipeline to determine the geodetic accuracy of measurement] *Inzhenerna heodeziia - Engineering geodesy*, 63, 14-19 [in Ukrainian].
3. Staroverov V.S. (1978). Kopredeleniu tochnosti i periodov nabludenij osadok indgenernuh soorudgenij [To determine the accuracy and observation periods of sediments of engineering structures] *Inzhenerna heodeziia - Engineering geodesy*, 32, 57-61 [in Ukrainian].
4. Chibiryakov V.K., Staroverov V.S., Adamenko A.V. (2017). Opredelenie tochnosti geodezicheskikh rabot pri montazhe arochnuh konstrukcij mostovuh perehodov [Determination of the accuracy of geodetic works during the installation of arched structures of bridge crossings] *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban and territorial planning*, 63, 475-478. [in Ukrainian].
5. Levchuk G.P., Novak V. (1981). *Prikladnaya geodeziya [Applied geodesy]*. Moscow: Nedra [in Russian].
6. Perun I.V. (1987). *Magistralnue truboprovodu v gornuh usloviyah [Main pipelines in mountain conditions]*. Moscow: Nedra [in Russian].
7. Borodavkin P.P. (1982). *Podzemnue magistralnue truboprovodu. [Underground trunk pipelines]*. Moscow: Nedra [in Russian].

В.К. Чибиряков, В.С. Староверов, К.А. Никитенко
МОДЕЛИРОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ
ПРОВЕДЕН МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ
ГАЗОПРОВОДОВ

В статье выполнено переход от параметров напряженно-деформированного состояния трубопровода к моделированию точности геодезических наблюдений за перемещением газопровода. Предложено формулы для перехода и для расчета среднеквадратических погрешностей вертикальных и горизонтальных перемещений трубопровода.

Установлено функциональную зависимость между значением средне квадратичной погрешности моделирования величины перемещения и средне квадратичной погрешностью значение прироста момента при моделировании напряженно - деформированного состояния системы. Кроме того, проанализировано литературу, подтверждающую отсутствие отечественных

нормативных документов, регламентирующих порядок, состав и точность геодезических работ для контроля состояния подземных газопроводов.

Экспериментально подтверждено влияние грунтового массива на положение трубопровода. Подобный системный подход позволяет выявить, опровергнуть или подтвердить характер влияния изменения (вариации) физико-механических показателей на результаты численного моделирования, на которых выполняется расчет точности выполнения геодезических работ, по выявлению и предупреждению развития деформаций трубопроводов.

Ключевые слова: *напряженно-деформированное состояние, газопроводная система, геодезический мониторинг, моделирование точности.*

V. Chibiryakov, V. Staroverov, K. Nikitenko
SIMULATION OF THE ACCURACY OF GEODESIC
OBSERVATIONS IN THE CONDITION OF MONITORING OF THE STATE
OF MAIN GAS PIPES

In the article, I will make the transition from the parameters of the stress-strain state of the pipeline to modeling the accuracy of geodetic observations on the movement of the pipeline. The formulas of transition and for calculation of standard errors of vertical and horizontal displacements of the pipeline are offered.

Functional dependence between the value of the mean square error of modeling of the magnitude of displacement and the mean square error of the value of moment gain in modeling the stress - strain state of the system is established. In addition, the literature was analyzed, confirming the absence of national normative documents regulating the order, composition and accuracy of geodetic works to control the state of underground gas pipelines.

The influence of the soil array on the pipeline position was experimentally confirmed. Such a systematic approach allows to identify, refute or confirm the nature of the influence of changes (variations) of physical and mechanical parameters on the results of numerical modeling, which performs the calculation of the accuracy of geodetic works, to detect and prevent the development of deformations of pipelines.

Keywords: *stress-strain state, gas pipeline system, geodetic monitoring, accuracy modeling.*

Надійшла до редакції

17.05.2019

А. Й. Віват, ст. викладач,

Н. О. Назарчук,

кафедра інженерної геодезії,

Національний університет «Львівська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДИКИ ЗАСТОСУВАННЯ СКАНУЮЧОГО ТАХЕОМЕТРА TOPCON IS301 ДЛЯ ПОБУДОВИ ПРОСТОРОВИХ МОДЕЛЕЙ АРХІТЕКТУРНИХ ФОРМ

У статті досліджено можливість застосування електронного тахеометра для побудови просторової 3D-моделі інженерного об'єкта. Об'єктом вибрано пам'ятник Митрополитові Андрею Шептицькому у м. Львові. Прилад для сканування – електронний тахеометр Topcon IS301 з прикладним програмним забезпеченням Image master. Прив'язку до міжнародної системи координат виконано RTN GNSS приймачем Stonex S900a з польовим програмним забезпеченням Carlson SurvCE. Прив'язку марок геодезичної основи та сканів виконано за розробленою методикою з контролем точності безпосередньо у полі.

Ключові слова: інженерно-геодезичні вимірювання, лазерне сканування, 3D-модель.

Вступ. Основною перевагою методу наземного лазерного сканування над методом просторової електронної тахеометрії є додаткова інформація про характер точки, від якої відбивається лазерний промінь, зокрема колір та інтенсивність. Це так звані фотограмметричні переваги лазерного сканування. Загалом за останнє десятиліття лазерне сканування суттєво розвинулось. Прилади з громіздких, енергоємних трансформувались у невеликі, схожі на електронні тахеометри засоби вимірювань. Покращилась апаратна частина, прикладне програмне забезпечення та програми опрацювання результатів сканування. Робота на станції сучасним сканером полягає у горизонтуванні приладу та запуску вимірювань. Навіть важливу функцію прив'язки сканів автоматизували у сканерах Leica-geosystems, система VIS, що, правда, ця функція обмежена у віддалі та і точність прив'язки низька, бо використовуються тільки фотограмметричні методи.

Наскрізне локальне сканування також має недоліки для певних інженерних задач де є потреба у конкретних значеннях поданих з прив'язкою до певної системи координат.

Використання електронного скануючого тахеометра, GNSS приймача, методику рекогностування та закріплення геодезичної основи досліджено в даній статті.

Аналіз досліджень і публікацій. У більшості робіт за заданою темою досліджують точність лазерного сканування як незалежного методу вимірювань. Так, наприклад, у дослідженні [1] детально описано методи виміру кутових та лінійних величин, що використовуються у наземному лазерному скануванні. У роботі [2] досліджено точність лазерного сканування, запропоновано

використання у високоточних інженерно-геодезичних роботах. У [3] майже повторюються наші дослідження, але вони є суто локальними. Ми ж фокусуємо погляд на загальні речі: рекогностування, визначення координат, закріплення основи, прив'язка сканера-тахеометра У роботі [4, 5] детально досліджено фотограмметричні методи отримання моделі фасаду будинку.

Постановка завдання. Дослідити можливість використання електронного тахеометра Topcon IS301 для побудови просторової 3D-моделі інженерного об'єкта, а також дослідження точності отриманих результатів та представлення їх у певній системі координат.

Основна частина. Ми пропонуємо виконувати лазерне сканування з контролем точності на кожній станції, також виконувати прив'язку до міжнародної системи координат у загальноприйнятій математичній проекції.

Для забезпечення повторюваності та відтворюваності результатів геодезичних робіт пропонуємо для таких досліджень використовувати міжнародну систему координат та загальновідому математичну проекцію для відображення просторових координат на площині. Для території України міжнародною системою координат є ETRS-2000 (Європейська земна система координат), яка прив'язана до Євразійської плити через мережу перманентних GNSS (Глобальна навігаційна супутникова система) станцій. Перетворення просторових координат у плоскі можна у будь-якій проекції. Для цього дослідження використали міжнародну проекції UTM (Універсальна поперечна проекція Меркатора).

Рекогностувальні роботи. Для перевірки методики вибрано пам'ятник Андрею Шептицькому у м. Львів у досить щільній забудові. Рекогностування виконали у програмі для системи Android «UTM Geo Map». Сканування запланували виконати з чотирьох станцій. Для прив'язки кожної необхідно мінімум дві точки з відомими координатами. Результат з програми UTM Geo Map є визначені приблизні координати пунктів GNSS та 3D марок (рис. 1) з навігаційною точністю, приблизно 1 м. Положення GNSS пунктів та 3D марок вибирається довільно.



Рис. 1. Вікна програми UTM Geo Map

Далі ці координати завантажуюмо у розроблену модель для планування оптимальних місць закладки пунктів та марок. Частково пропонувану модель

описано у роботі [6]. З моделі отримуємо оптимальні координати місця закладки пунктів GNSS, 3D марок та станцій встановлення прилада, також кути розвороту та нахилу 3D марок (рис. 2). Пропоновані 3D марки також описано у роботі [6].

3D марки виготовляють на спеціальних кронштейнах із горизонтальним кутом розгортки 0°, 45°, 90° та вертикальною шкалою – 0°, 30°, 45°, 60°, 90°. Закріплення 3D марок під оптимальним кутом забезпечує перпендикулярність падаючого променя, тим самим підвищує точність вимірювань кутів та віддалей. Прив'язування координат станцій стояння приладу виконували методом оберненої лінійно-кутової засічки, за методикою, дослідженою у [7]. Це дає змогу контролювати процес сканування на кожному етапі для забезпечення точності.

На рис. 2 наведено визначення кута розвороту 3D марки для пари пунктів (ST1-M1). Також наведено один із пунктів GNSS та 3D марка TPS.

Наведемо формули для визначення кута β між гранями 3D марки, та кута нахилу марки – ν . Вихідними даними для їхніх обчислень є координати, отримані з рекогностування (рис. 1).

$$\beta^0 = \alpha_{\text{Падіння}} + 180^0 - \alpha_{\text{Перешкоди}} - 90^0 \quad (1)$$

$$\nu^0 = \arctan \frac{h}{d}, \quad (2)$$

де α – дирекційний кут; d – віддаль, яку визначають за приростами координат із оберненої геодезичної задачі, перевищення h визначають за різницями висот точок.

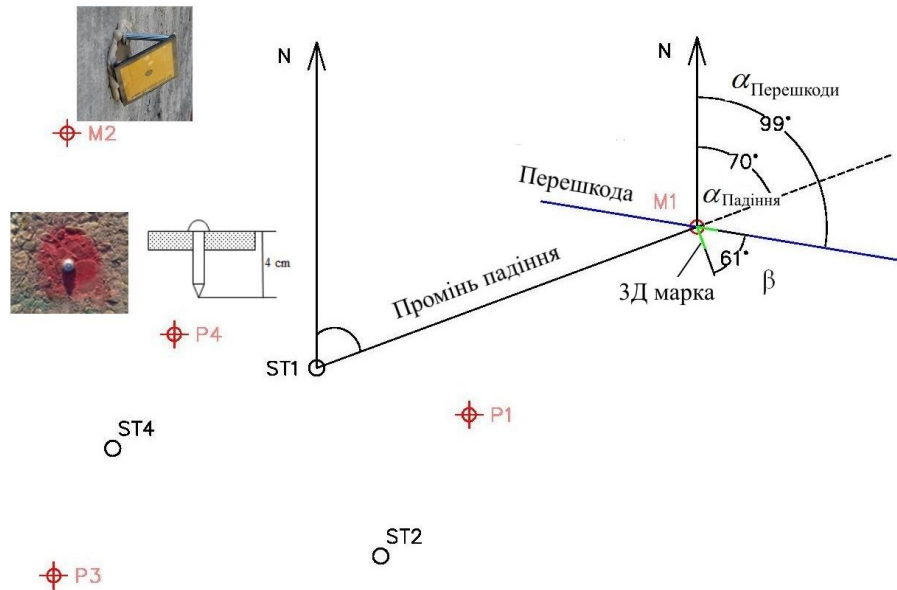


Рис. 2. Визначення кута розвороту 3D марки

Визначення координат основи GNSS методом у RTN режимі. Точні координати пунктів визначили GNSS методом у RTN режимі від мережі базових станцій Geoterrace (рис. 3).

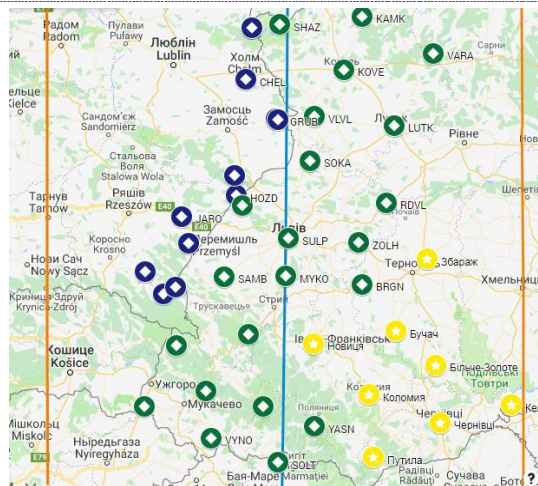


Рис. 3. Мережа станцій Geoterrase та шестиградусні зони проєкції UTM

Ця мережа покриває всю західну частину України та забезпечує можливість визначення координат у всіх світових, європейських та національних системах координат, та у всіх проєкціях, зокрема UTM. Ми використали прилад Stonex S900A. Точність визначення просторового положення пунктів методом RTN перевірено та описано у [8; 9]. У дослідженнях 2011 року похибка просторового положення визначуваного пункту $M_p = 8$ мм; у 2018 році досліджена похибка $M_p = 5$ мм, що цілком достатньо для координатної прив'язки заданого об'єкта. Для цього дослідження закріплено чотири пункти GNSS та чотири 3D марки TPS.

У таблиці 1 подано точність визначених координат пунктів геодезичної основи та параметри, які впливають на точність методу GNSS.

Таблиця 1

Характеристики пунктів основи, визначених GNSS методом

Пункт	Висота антени, м	СКП, m	Тип рішення	Кількість супутників	PDOP	Дата виконання	Час виконання
P1	1,800	0,002	Фіксоване	16	1,26	04-26-2019	10:30:23
P2	1,800	0,004	Фіксоване	16	1,27	04-26-2019	10:32:23
P3	1,800	0,002	Фіксоване	12	1,76	04-26-2019	10:34:23
P4	1,800	0,005	Фіксоване	15	1,37	04-26-2019	10:36:23

Запропоновано також блок-схему виконання робіт (рис. 4).

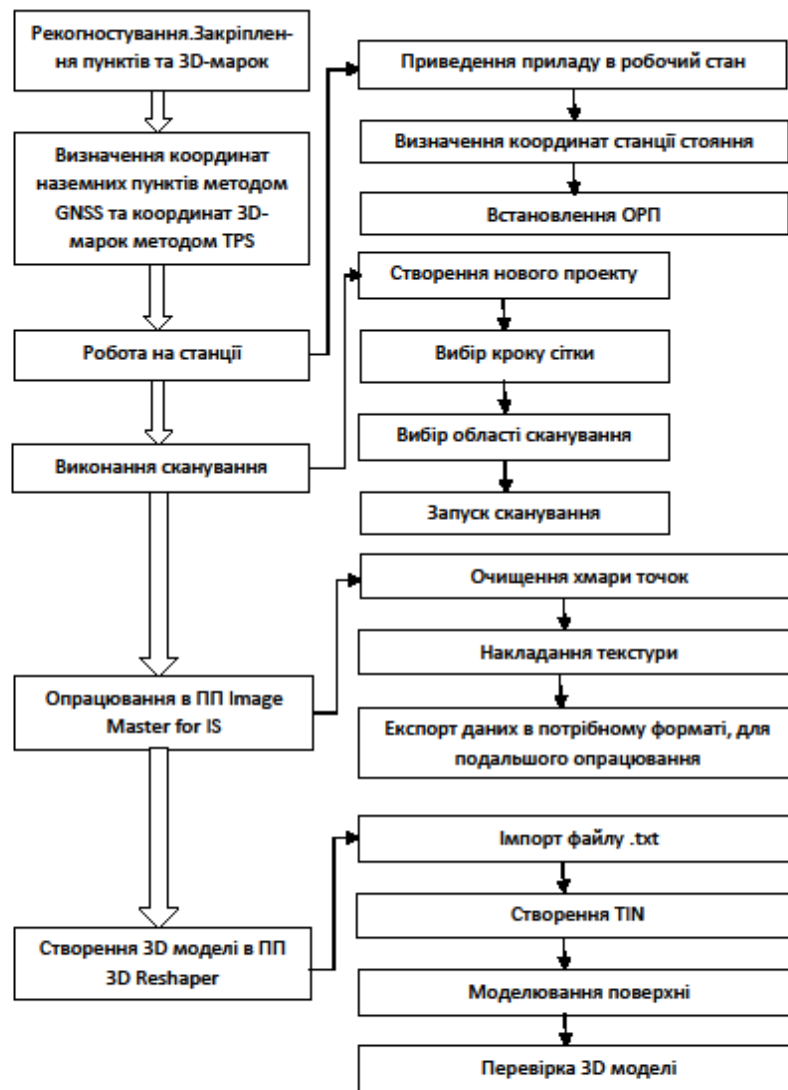


Рис. 4. Блок-схема виконання робіт на об'єкті

Визначення координат 3D марок та проведення сканування. Сканування виконували роботизованим фототахеометром Topcon IS301, зображеним на рис. 5 [10]. Також у таблиці 2 зазначено основні характеристики приладу.

Таблиця 2

Основні технічні характеристики



Рис. 5. Тахеометр Topcon IS301

Збільшення зорової труби / мінімальний фокус	30* / 1,4 м
СКП вимірювання кута	1"
СКП вимірювання віддалі	± 2 мм + 2 ppm
Точність відлічування віддалі на довільну поверхню	± 3 мм
Діапазон виміру віддалі без відбивача	1,5 м – 250 м (NP) 1,5 м -2000 м (NPL)
Роздільна здатність камери	1,3 Мп
Швидкість сканування	20 точок/секунда
Стандартне відхилення точок сканування	5 мм

Далі, згідно з блок-схемою (рис. 4), виконуємо роботи. Встановивши прилад у робочий стан, визначили положення його головної точки (перетин вертикальної та візирної осі) методом оберненої засічки (рис. 6, а) від пунктів, визначених методом GNSS.

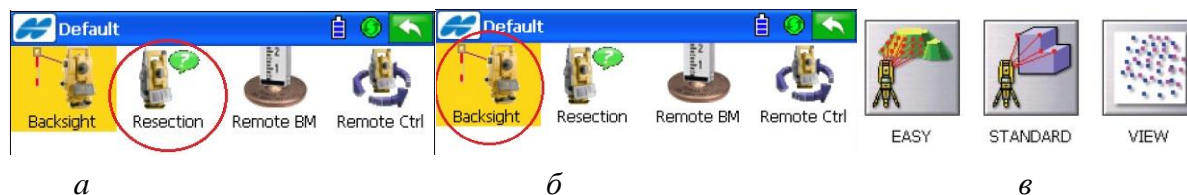


Рис 6. а – Функція «Обернена засічка»,
 б – Функція «ОРП»,
 в – Функція «Сканування»

Далі виконали орієнтування приладу (рис. 6, б), щоб у подальшому координати визначалися правильно. Визначивши координати і точку орієнтування, перейшли до функції «Сканування» (рис. 6, в). Вказали характеристики сканування: тип області, метод вимірювання відстані, крок сканування (горизонтальний і вертикальний). Тип області сканування залежить від об’єкта. В заданому дослідженні вибирали тип області – полігон і визначаємо межі об’єкта сканування (рис. 7, а).

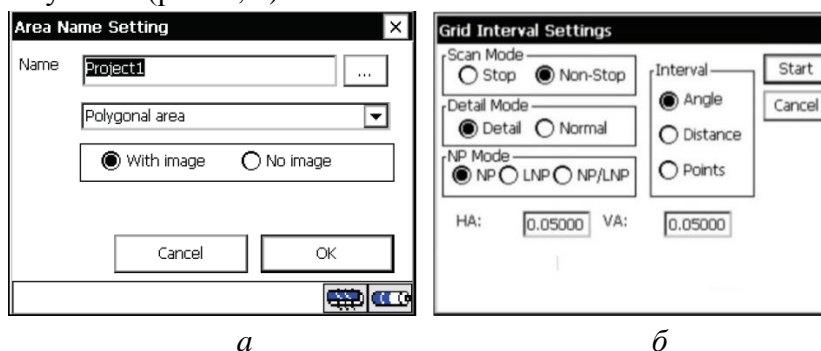


Рис. 7. Вибір типу області (а) та вибір характеристики сітки (б)

Вказали характеристики сітки – деталізований режим (Detail), та нормальне вимірювання відстані (NP), крок сітки вибираємо за кутом (Angle) – 0.05° (рис. 7, б).

Крок сітки вибирають залежно від бажаної точності об’єкта, відстані до об’єкта, а також бажаної точності сканування. Для забезпечення точності крок сітки можна обчислити за формулою 3.

$$R^0 = \arctan \frac{R_{MM}}{d_{MM}}, \tag{3}$$

де R^0 – крок сканування у градусній мірі,
 R_{MM} – необхідна роздільна здатність сканування,
 d_{MM} – віддаль до об’єкта.

Запустили сканування по сітці. Середній час сканування на станції 1,5 год.
 Після завершення роботи експортували дані для подальшого опрацювання.

Створення 3D моделі виконали у двох програмних пакетах Image Master for IS та 3D Reshaper. Детальніше алгоритм опрацювання наведено нижче.

Опрацювання у програмі Image Master for IS

«Image Master for IS» дає змогу виконувати все, від бездротового керування вимірюваннями до створення 3D, за допомогою стереопар [10].

Робота в «Image Master for IS» розпочалася з створення нового проєкту і імпорту п’ятох файлів TopSURV Scanning File(T), які містять хмари точок.

Завантаживши хмару точок, очищили від зайвих об’єктів. Отримана хмара зображена на рис. 8 (в табл. 3 наведені основні характеристики сканування).



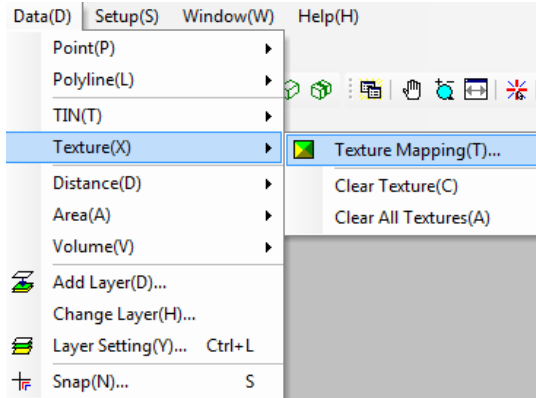
Рис.8. Очищена хмара точок

Таблиця 3

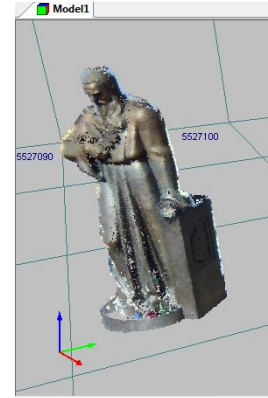
Характеристика сканування

Кількість станцій сканування	5
Щільність сканування	0,05 ⁰ – вертикальне 0,05 ⁰ – горизонтальне
Метод сканування	NP
Загальна кількість точок	101 430

Використовуючи хмару точок та знімки, отримані під час сканування на кожній станції, наклали текстуру (рис. 9, а). І в результаті отримали хмару точок із текстурою (рис. 9, б).



а



б

Рис. 9, а – Інструмент створення Texture, б – текстурована хмара точок

Для подальшого опрацювання в інших програмних пакетах, у програмі Topson Image Master for IS можна виконати експорт у такі формати: *.csv, *.txt, *.pts, *.dxf, *.wrl, *.obj.

Створення моделі у програмі 3D Reshaper. 3DReshaper – це просте у використанні та універсальне програмне рішення, призначене для обробки будь-яких типів точкових хмар у широкому спектрі додатків.

Для опрацювання в «3D Reshaper», ми використали експортовані дані з «Image Master for IS» у форматі *.txt, який містить координати точок сканування,

інтенсивність та RGB, який дає змогу зобразити модель у реальних кольорах об'єкта. В табл. 4 наведений фрагмент файлу.

Таблиця 4

Фрагмент імпортованого файлу

X, м	Y, м	H, м	Інтенсивність	R	G	B
5524881,011	285242,480	350,326	0,000	167	154	135
5524881,019	285242,511	350,329	0,000	156	149	131
5524880,976	285242,586	350,314	0,000	156	165	172

За допомогою цієї програми створили твердотільну модель пам'ятника Митрополитові Андрею Шептицькому з наведеними характеристиками у таблиці 5

Таблиця 5

Характеристики моделі

Кількість трикутників	13038
Кількість незалежних частин	1
Кількість отворів	0
Об'єм	2,9677 м ³
Площа поверхні	17,6627 м ²
Розмір	ширина = 1,771 м довжина = 1,785 м висота = 3,844 м
Вага твердотільної моделі	26413 кг
Вага пустотілої моделі з товщиною 5 мм.	786 кг

Крім цього, програма також визначає координати центра ваги за об'ємом та поверхнею, також координати найнижчої та найвищої точки.

Щоб проаналізувати точність хмари точок, визначили значення контурів об'єкта за хмарою точок, а також за допомогою штрихової міри. За формулою Бесселя, визначили СКП вимірів (таб.6).

Таблиця 6

Перевірка чіткого контуру моделі за вимірюваннями штриховою мірою

№ контуру	Значення, м модель	Значення, м штрихова міра	Різниця, мм
1	0,747	0,742	5,0
2	1,7735	1,760	13,5
3	0,7378	0,735	2,8
4	1,5647	1,561	3,7
5	0,5005	0,500	0,5
6	0,3001	0,295	5,1
СКП.			4,4

З табл. 6, найменша різниця становить 0,5 мм, найбільша – 13,5 (припускаємо, що у цьому вимірі присутня похибка вимірювання значення на моделі). Середня квадратична похибка із шести контрольних замірів становить 4,4

мм, що цілком забезпечує точність виконання вимірювань для об'єктів архітектури.

Висновки

1. У статті досліджено можливість використання електронного тахеометра Topcon IS 301 для проведення наземного лазерного сканування пам'ятки архітектури.

2. Досліджено можливість визначення координат пунктів основи GNSS методом у RTN режимі для забезпечення повторюваності та відтворюваності результатів лазерного сканування. Запропоновано використовувати міжнародну систему координат та загальновідому математичну проєкцію для відображення просторових координат на площині.

3. Запропоновано блок-схему виконання лазерного сканування на об'єкті.

4. Досліджено, що основною перевагою тахеометра для сканування є можливість використання одного приладу для сканування і знімання геодезичної основи (координування точок стояння), що дає змогу заощадити час і витрати на додаткові геодезичні прилади.

5. Побудовано твердотільну модель, визначено площу поверхні, об'єм та вагу досліджуваного об'єкта. Визначено координати центра ваги за об'ємом та поверхнею.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Наземное лазерное сканирование: монография* / В. А. Середович, А. В. Комиссаров, Д. В. Комиссаров. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 259 с.

2. *Катушков В. О.* Співвідношення між очікуваною точністю наземного лазерного сканування та вимогами до точності виконання інженерно-геодезичних робіт / В. О. Катушков, Р. В. Шульц, Б. Р. Сосса // Містобудування та територіальне планування. – 2012. – №44. – С. 238–248.

3. *Великорусова А. А.* Розроблення методики створення тривимірної моделі за допомогою фототахеометра Topcon IS-301 / А. А. Великорусова // Інженерна геодезія. – 2016. – № 63. – С. 34–43.

4. *Kamnev, I. S.; Seredovich, V. A.* (2017) Analysis of the three-dimensional vector façade model created from photogrammetric data. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2017, 4.

5. *Глотов В.* Аналіз методів створення фронтальних планів лазерним наземним скануванням та цифровим зніманням / В. Глотов, Х. Марусаж // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2013. – № 78. – С. 30–37.

6. *Віват А. Й.* Дослідження приладів для вимірювання геометричних параметрів конструкцій інженерних споруд / А. Й. Віват, А. Л. Церклевич, О. М. Смірнова // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2018. – №87. – С. 21–29.

7. *Litynskyi, Volodymyr, et al.* (2019). The accuracy investigation of point coordinates' determination using a fixed basis for high-precision geodesy binding. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 107, 19–23.

8. *Віват А. Й.* Дослідження точності визначення координат GNSS методом у режимі RTK / А. Й. Віват, В. О. Літинський, В. М. Колгунов, І. Я. Покотило // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2011. – №74. – С. 52–59.

9. Vivat A. Дослідження точності визначення координат методом GNSS у RTK та PPP режимах / А. Віват, Н. Назарчук, Х. Крива // Збірник матеріалів міжнар. наук.-техн. конф. молодих вчених «GeoTerrace – 2018» (13–15 грудня 2018 року). – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018 – С. 15–18.

10. Topcon Image Station [Електроний ресурс] – Режим доступу: <https://www.topconpositioning.com/total-stations/robotic-total-stations/3-series>.

REFERENCES

1. Seredovych V. A., Komysarov A. V., Komysarov D. V. (2009). *Nazemnoe lazernoe skanyrovanye [Terrestrial laser scanning]*. Novosybyrsk: SHHA [in Russian].

2. Katushkov V. O., Shults R. V., Sossa B. R. (2012). Spivvidnosyny mizh ochikuvanoyu tochnisty nazemnoho lazernoho skanuvannya i vymohamy do tochnosti vykonannya inzhenerno-heodezychnykh robot [The correlation between the expected accuracy of terrestrial laser scanning and the requirements for the accuracy of engineering and geodetic works]. *Mistobuduvannya ta terytorialne planuvannya – Urban Planning and Territorial Planning*, 44, 238–248. [in Ukrainian]

3. Velykorusova A. A. (2016). Rozrobleno metodyku stvorennya tryvymirnykh modeley za dopomohoyu fototakheometra Topcon IS-301 [Development methods creating three-dimensional models using total station Topcon IS 301]. *Inzhenerna heodeziya – Engineering Geodesy*, 63, 34–43. [in Ukrainian]

4. Kamnev, I. S.; Seredovich, V. A. (2017). Analysis of the three-dimensional vector façade model created from photogrammetric data. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2017, 4.

5. Glotov V., Marusazh K. (2013). Analiz metodiv stvorennya frontal'nykh planiv lazernym nazemnym skanuvannyam ta tsyfrovym znimannyam [Analysis of methods for creating frontal plans by laser terrestrial scanning and digital imaging]. *Heodeziya, kartohrafiya i aerofotoznimannya - Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 78, 30–37. [in Ukrainian]

6. Vivat, A. Y., Tserklevych, A., & Smirnova, O. (2018). Doslidzhennya pryladiv dlya vymiryuvannya heometrychnykh parametriv konstruktsiy inzhenernykh sporud [A study of devices used for geometric parameter measurement of engineering building construction]. *Heodeziya, kartohrafiya i aerofotoznimannya - Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 87, 21–29. [in Ukrainian]

7. Litynskyi, Volodymyr, et al. (2019). The accuracy investigation of point coordinates' determination using a fixed basis for high-precision geodesy binding. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 107, 19–23.

8. Vivat, A. Y., Litynskyi V. O., Kolhunov V. M., & Pokotylo I. Y. (2011). Doslidzhennya tochnosti vyznachennya koordynat HNSS metodom v rezhymi RTK [Investigation of accuracy of determination of coordinates by GNSS method in RTK]. *Heodeziya, kartohrafiya i aerofotoznimannya – Geodesy, Cartography, and Aerial Photography*, 74, 52–59. [in Ukrainian]

9. Vivat A. Nazarchuk N., Kryva K. (2018). Doslidzhennya tochnosti vyznachennya koordynat metodom GNSS u RTK ta PPP rezhymakh [The Investigation of accuracy of points coordinates determinations by GNSS method in RTK and PPP modes]. *Zbirnyk materialiv Mizhnarodnyy. nauk. konf. molodykh vchenykh*

«GeoTerrace – 2018» – *International materials collection. Sci.-Tech. conf. young Scientists «GeoTerrace – 2018».* (pp.15–18). Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House [in Ukrainian].

10. Topcon Image Station. www.topcon.co.jp. Retrieved from http://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/product/3dscanner/IS_E.html.

А. Й. Віват, Н. О. Назарчук

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРИМЕНЕНИЯ СКАНИРУЮЩЕГО ТАХЕОМЕТРА TOPCON IS301 ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ МОДЕЛЕЙ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ

В статье исследована возможность применения электронного тахеометра для построения пространственной 3D-модели инженерного объекта. Объектом выбрано памятник Митрополиту Андрею Шептицькому в г. Львов. Прибор для сканирования - электронный тахеометр Topcon IS301 с прикладным программным обеспечением Image master. Привязку к системе координат выполнено RTN GNSS приемником Stonex S900a с полевым программным обеспечением Carlson SurvCE. Привязку марок геодезической основы и сканов выполнено по разработанной методике с контролем точности непосредственно в поле.

Ключевые слова: инженерно-геодезические измерения, лазерное сканирование, 3D-модель.

A. Vivat, N. Nazarchuk

RESEARCH THE APPLICATION OF TOPCON IS301 SCANNING TOTAL STATION FOR THE BUILDING OF SPACE MODELS OF ARCHITECTURAL FORMS

The article is devoted to the possibility of using an electronic total station for the construction of a 3D model of an engineering object. For this research was used a monument to Andrey Sheptytsky in Lviv. In work used total station Topcon IS301 with software Image Master. The binding to the international coordinate system is performed by the RTN GNSS receiver Stonex S900a with the field software Carlson SurvCE. The bindings of the geodetic foundations and scans are performed according to the developed precision control technique directly in the field. Creation of 3D models was performed in 3DReshaper software. Analyzed the accuracy of the obtained model.

We have proposed a block diagram of laser scanning on the object by total station. It was researched that the main advantage of scanning by total station is possibility of using one device for scanning and geodetic surveying. This saves time and expense for additional geodetic instruments. The average square error of the constructed model is 4.4 mm.

Keywords: engineering-geodetic measurements, laser scanning, 3D-model.

Б. Д. Бачишин канд. техн. наук, доцент кафедри геодезії та картографії,
Національний університет водного господарства
та природокористування, м. Рівне

ПОБУДОВА ЕМПІРИЧНОЇ ФОРМУЛИ ГРАНИЧНОГО ВІДХИЛЕННЯ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН ВІД ВЕРТИКАЛІ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЇХ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ

Побудовано спрощену емпіричну формулу для практичного визначення граничного відхилення залізобетонних колон від вертикалі на основі методу, який враховує напружено-деформований стан конструкції, виходячи з Гаусового показника надійності колони. Формула отримана на основі обробки статистичних даних різних колон на різних поверхнях різноманітних об'єктів. Досліджено лінійну та степеневу функції для апроксимуючої кривої. Для зручності практичного застосування рекомендовано найпростіший варіант кривої тренду – лінійну. В якості аргументу кривої використано площу поперечного перерізу бетону, віднесено до довжини (висоти) колони. В цій площі враховано площу арматури. Лінійна емпірична залежність з таким аргументом дала високе значення показника надійності тренду.

Ключові слова: емпірична формула, граничне відхилення, напружено-деформований стан, залізобетонна колона.

Вступ. Врахування впливу похибок геодезичного забезпечення на зміну зусиль в конструкції та встановлення точності такого забезпечення на основі аналізу змін цих зусиль залишається актуальною задачею в інженерній геодезії. Дослідження проводяться для різноманітних типів конструкцій. Такий підхід видається найбільш природнім адже похибки геодезичних робіт розглядаються не самі по собі, а як один із факторів, які погіршують функціонування конструкції. В цій статті будуть розглянуті питання отримання формули для практичного визначення граничного відхилення залізобетонних колон від вертикалі.

Аналіз досліджень та публікацій. Обґрунтуванню точності геодезичних робіт виходячи із аналізу напружено-деформованого стану унікальних будівельних споруд (будівельних оболонки, вантових покриттів, баштових споруд, мостових переходів, фундаментів газокompресорних станцій) присвячені роботи [2, 4, 5]. В нормативних будівельних документах регламентуються допустимі відхилення при спорудженні (монтажі) залізобетонних колон [3] в залежності від висоти колони. Спробу визначити ці ж відхилення на основі врахування впливу похибок всіх технологічних етапів спорудження колони на зміну зусиль та опору останньої реалізовано в публікації [1], автори якої отримали формули для граничного відхилення колони від вертикалі та порівняли вираховані значення з тими, що приведені в [3]. Результати виявилися співрозмірними, близькими. Як і очікувалося, автори [1] отримали диференційовані значення граничних відхилень для колон однакової довжини,

тому, що цей метод враховує опір та зусилля конструкції а також їх варіації та варіації аргументів опору та зусилля. Безумовно, що цей метод є більш повним і універсальним, адже враховує, крім того, імовірнісний показник надійності всієї конструкції. Але формула граничного відхилення колони від вертикалі, приведена в [1] є дуже громіздкою, вимагає знання багатьох параметрів (зусилля, ексцентриситету прикладання зусилля, нормативних призмових міцностей бетону та арматури, ширини перерізу колони, висота стисненої зони бетону, робочої висота перерізу, номінальної висоти перерізу, товщини захисного шару бетону та багато інших – загалом 20 параметрів), і зрозуміло, що для повсякденного використання є малоприматною.

Тому є потреба в отриманні простої, зручної формули з мінімальною кількістю аргументів, яку можна було б легко застосовувати практично.

Постановка завдання. Необхідно отримати просту, зручну формулу з мінімальною кількістю аргументів для визначення граничного відхилення залізобетонних колон від вертикалі, спираючись на аналіз напружено-деформованого стану конструкцій, виходячи з Гаусового показника надійності колони.

Основна частина. Середня квадратична похибка неvertикальності колони визначається в [2] за формулою

$$m_m = \sqrt{\frac{m_R^2 - b^2 x^2 (h_0 - 0.5x)^2 m_{R_b}^2 - (A'_S (h_0 - a'))^2 m_{R_S}^2 - (R_S (h_0 - a'))^2 m_{A'_S}^2 - (R_S A_S)^2 m_{a'}^2}{R_b^2 x^2 (h_0 - 0.5x)^2 + R_b^2 b^2 (h_0 - x)^2 + (R_b \cdot b \cdot x + R_S \cdot A'_S)^2}}, \quad (1)$$

де R_b, R_S – нормативна призмova міцність бетону та арматури відповідно, b – номінальна ширина перерізу колони, x – висота стисненої зони бетону, h_0 – робоча висота перерізу, h – номінальна висота перерізу, a' – захисний шар бетону для стиснутої арматури, A'_S – номінальна площа перерізу арматури в стисненій зоні, m_{R_b} – середня квадратична похибка визначення призмової міцності бетону, 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.

Середня квадратична похибка опору знаходять з формули:

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

де R – опір, S – зусилля, β_g – Гаусовий показник надійності, що відповідає імовірнісному показнику $H(0)$, m_R, m_S – відповідно середні квадратичні похибки опору та зусилля [2]. Опір R , зусилля S та середню квадратичну похибку зусилля визначають відповідно за формулами (2) і (3) в [2].

Перехід до граничного відхилення колони від вертикалі, викликаного похибками геодезичних розмічувальних, монтажних робіт та похибками виготовлення і деформації колони здійснюють за формулою:

$$\delta_{\Gamma} = \frac{2.5m_{\text{м}}}{\sqrt{10}} \quad (3)$$

За формулами (1) – (3) приведеними тут були розраховані граничні відхилення від вертикалі для 32 різних колон на різних поверхах різних об'єктів на Рівненщині, які споруджувалися в 2010 – 2017 рр. Вихідні дані для розрахунків та результати розрахунків приведені відповідно в таблицях 1 і 2.

Наступний етап - на основі аналізу статистичних даних табл.1 і табл.2 отримати просту та зручну емпіричну формулу для обчислення граничного відхилення колони від вертикалі.

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунків

Об'єкт	b , м	h , м	$a = a'$, см	$S_{\text{ст}}$, Н	$A_{\text{с}}$, кв.см.	L , м
Нетішин 9	0,4	0,4	4,75	589379,7	8,04	3,5
Молокозавод 1	0,4	0,4	4,75	1057157	8,04	5,0
Молокозавод 2	0,4	0,4	4,75	1775984	8,04	5,0
Сковороди 1	0,4	0,4	5,5	681562	25,12	4,8
Сковороди 3	0,4	0,4	5,5	777667	25,12	4,8
Сковороди 5	0,4	0,4	5,5	640374	25,12	4,8
Сковороди 6	0,5	0,5	5,5	2126082	25,12	4,8
Сковороди 8	0,5	0,5	5,5	2184922	25,12	4,8
Сковороди 9	0,5	0,5	5,5	1906413	25,12	4,8
Сковороди 10	0,5	0,5	5,5	2486966	25,12	4,8
Сковороди 11	0,5	0,5	5,5	1890722	25,12	4,8
Сковороди 12	0,5	0,5	5,5	2404591	25,12	4,8
Сковороди 13	0,5	0,5	5,5	1884838	25,12	4,8
Сковороди 14	0,5	0,5	5,5	1394506	25,12	3,0
Київська 1	0,4	0,4	5,5	1713222	50,02	3,1
Київська 2	0,4	0,4	5,5	1666150	50,02	3,1
Київська 3	0,4	0,4	5,5	1981924	50,02	3,1
Київська 4	0,4	0,4	5,5	1875031	50,02	3,1
Київська 5	0,4	0,4	5,5	1752448	50,02	3,1
Кубанська 1	0,4	0,4	5,5	507004	35,54	3,4
Кубанська 2	0,4	0,4	5,5	778648	35,54	3,4
Моріон 2	0,4	0,4	5,5	1897587	27,66	3,75
Моріон 3	0,4	0,4	5,5	137293	27,66	3,7
Моріон 1	0,4	0,4	5,5	182404	27,66	3,75

Закінчення табл. 1

Небесної сотні 1	0,3	0,3	5,5	46778	12,56	3,0
Небесної сотні 2	0,3	0,3	5,5	59526	12,56	3,0
Небесної сотні 3	0,3	0,3	4,6	90123	12,56	3,0
Небесної сотні 4	0,3	0,3	5,5	69529	12,56	3,0
Небесної сотні 5	0,3	0,3	5,5	46876	12,56	3,0
Небесної сотні 6	0,3	0,3	4,5	104931	12,56	3,0
Небесної сотні 7	0,3	0,3	5,5	131409	12,56	3,0
Небесної сотні 8	0,3	0,3	5,5	116699	12,56	3,0

Таблиця 2

Результати розрахунків

Об'єкт	R, Нм	S, Нм	Приведена площа бетону, кв.м/1м	$\delta_r = 2.5m_r$ мм	$\delta_r = 2m_r$, мм	δ_r , мм з ДБН
Нетішин 9	556410	26674	0,051	34,0	27,2	20
Молокозавод 1	556410	14095	0,035	29,6	23,7	23
Молокозавод 2	556410	23680	0,035	21,4	17,1	23
Сковороди 1	729087	135332	0,045	30,8	24,6	23
Сковороди 3	729087	167694	0,045	29,2	23,4	23
Сковороди 5	729087	130428	0,045	31,4	25,1	23
Сковороди 6	1305888	35435	0,063	38,8	31,0	23
Сковороди 8	1305888	49426	0,063	37,9	30,3	23
Сковороди 9	1305888	31774	0,063	40,7	32,6	23
Сковороди 10	1305888	41449	0,063	35,6	28,5	23
Сковороди 11	1305888	31512	0,063	40,8	32,6	23
Сковороди 12	1305888	40077	0,063	36,4	29,1	23
Сковороди 13	1305888	36481	0,063	40,7	32,6	23
Сковороди 14	1305888	54329	0,101	43,5	34,8	23
Київська 1	530959	22843	0,087	36,6	29,3	23
Київська 2	530959	22215	0,087	37,1	29,7	23
Київська 3	530959	26426	0,087	34,1	27,3	23
Київська 4	530959	25000	0,087	34,8	27,8	23
Київська 5	530959	23366	0,087	35,5	28,4	20
Кубанська 1	850015	19507	0,070	41,8	33,4	20
Кубанська 2	850015	30695	0,070	39,4	31,5	20
Моріон 2	758591	25301	0,059	28,0	22,4	20
Моріон 3	758591	82866	0,059	38,1	30,4	20

Закінчення табл. 2

Моріон 1	758591	81787	0,059	37,8	30,2	20
Небесної сотні 1	258817	23340	0,039	24,9	19,9	20
Небесної сотні 2	258817	13337	0,039	26,1	20,9	20
Небесної сотні 3	281797	52269	0,039	23,4	18,7	20
Небесної сотні 4	258817	30106	0,039	23,9	19,1	20
Небесної сотні 5	258817	22163	0,039	25,1	20,1	20
Небесної сотні 6	284350	25693	0,039	26,9	21,5	20
Небесної сотні 7	258817	26772	0,039	24,0	19,2	20
Небесної сотні 8	258817	21378	0,039	24,7	19,8	20

При апроксимації статистичних даних та визначенні емпіричної формули слід керуватися такими вимогами: кількість характеристик колони, включених до аргументу чи використаних в якості аргументу функції повинна бути мінімальною і ці характеристики повинні бути такими, щоб їх можна було легко отримати, а вид апроксимуючої кривої повинен бути якомога простішим із забезпеченням відповідного рівня надійності вибраного тренду.

В якості аргументу апроксимуючої функції були спроби використати такі характеристики:

- площа поперечного перерізу колони $b \cdot h$;
- площа перерізу арматури стисненої зони A'_s ;
- сума двох попередніх площ $b \cdot h + A'_s$;
- сума цих площ, віднесена до довжини колони $(b \cdot h + A'_s) / L$;
- різниця між опором та зусиллям, поділена на Гаусовий показник надійності;

При побудові тренду на основі 4-х перших характеристик було отримано слабку чи середню градацію зв'язку вибраного тренду та статистичного ряду, іншими словами зв'язок між обраною характеристикою та граничною похибкою виявився слабким. Кращий результат було отримано для 5-го показника – різниці між опором та зусиллям, але для практичного використання такого тренду кожен раз геодезистові необхідно буде вирахувати опір та зусилля в колоні, які залежать загалом від 20 характеристик.

Найбільш надійним виявся зв'язок апроксимуючої кривої із статистичними даними (див рис.1, 2), коли в якості аргументу було використано площу поперечного перерізу бетону разом з площею арматури, віднесено до довжини (висоти) колони

$$A_E = (b \cdot h + A'_s \frac{R_s}{R_b}) / L. \quad (4)$$

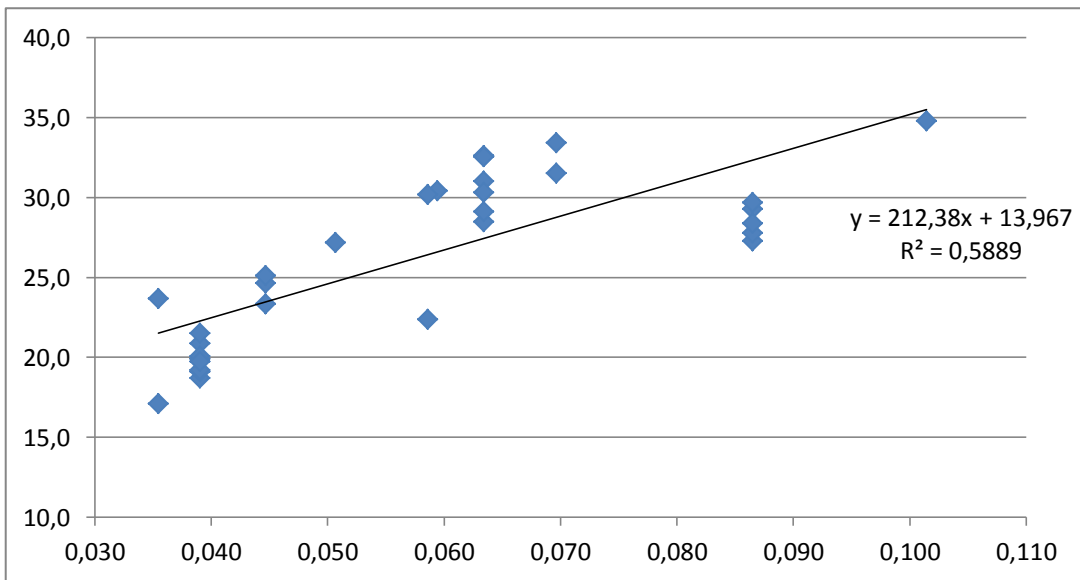


Рис.1 Статистичний ряд та крива апроксимації у вигляді лінійної функції. Вздовж вертикалі – граничне відхилення δ_r (в мм), вздовж горизонталі – приведена площа поперечного перерізу бетону колони (в кв.м./1м)

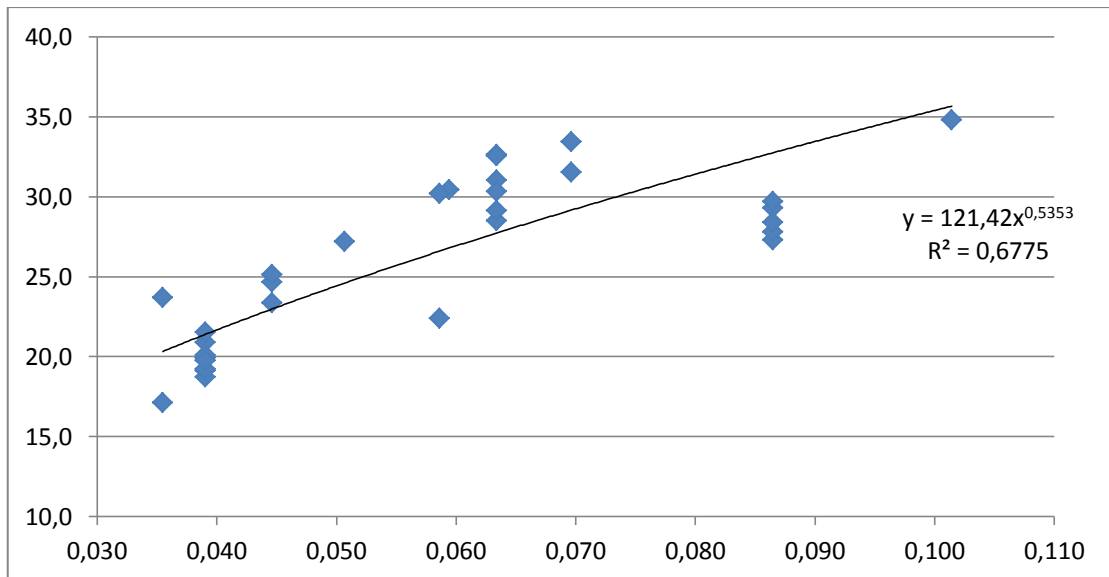


Рис.2 Статистичний ряд та крива апроксимації у вигляді степеневі функції. Вздовж вертикалі – граничне відхилення δ_r (в мм), вздовж горизонталі – приведена площа поперечного перерізу бетону колони (в кв.м./1м)

В якості апроксимуючої кривої вибрано найпростіші варіанти залежності – лінійну (див. рис.1)

$$\delta_r = 212,38 \cdot A_B + 13,967 \quad (5)$$

та степеневу (див. рис.2) функції

$$\delta_r = 121,42 \cdot A_B^{0,5353} \quad (6)$$

Трохи вищий показник детермінації R^2 (надійності встановленого тренду) виявився у степеневій функції ($R^2=0.6775$) у порівнянні з лінійною ($R^2=0.5889$). Ще кращий результат показала крива апроксимації у вигляді поліному. Причому із зростанням ступеню поліному зв'язок виявлявся кращим. Але така крива вимагає значно більших обчислень для вираховання граничного відхилення, що незручно для практичного використання. До того ж такий поліном мав кращу надійність через обмежену кількість статистичних даних – на рис. 1, 2 добре видно «прогалини» для значень приведеної площі поперечного перерізу бетону від 0,07 до 0,87 та від 0,09 до 0,10 кв.м./1м.

Ще було апробовано в якості аргументу кривої тренду приведену площу бетону без врахування захисного шару бетону, але така характеристика показала гірший результат за показником надійності тренду.

Для подальшої оцінки точності апроксимації було вираховано середні квадратичні похибки апроксимації за формулою Беселя $m_{\delta_r} = 3.38$ мм для лінійної функції та $m_{\delta_r} = 1.13$ мм для степеневій функції, кореляційну матрицю для лінійної залежності

$$M = \begin{pmatrix} 1049.6735 & -61.0675 \\ -61.0675 & 3.9103 \end{pmatrix}$$

та для степеневій функції

$$M = \begin{pmatrix} 562.0535 & 2.3354 \\ 2.3354 & 0.0181 \end{pmatrix}.$$

За кореляційними матрицями вираховані похибки параметрів емпіричної формули (5) для лінійної функції $m_{C_1} = 32.4$ $m_{C_2} = 2.0$, та емпіричної формули (6) для степеневій функції $m_{C_1} = 23.7$ та $m_{C_2} = 0.13$. Тоді параметри емпіричних формул можна записати $C_1 = 212.38 \pm 32.4$, $C_2 = 13.967 \pm 2.0$ для (5) та $C_1 = 121.42 \pm 23.7$, $C_2 = 0.5353 \pm 0.13$ для (6). Наостанок вираховано коефіцієнт кореляції параметрів емпіричних формул $R_{C_1C_2} = -0.95$ для (5), та $R_{C_1C_2} = 0.99$ для степеневій функції. Оцінка точності показує дещо кращий результат для степеневій функції (6).

На останок були вираховані допустимі відхилення від вертикалі для всіх колон за формулами (5) і (6). В тому числі до аналізу були долучені 5 колон, дані яких не використовувалися для побудови емпіричних формул: адмін_центр, набережний квартал, Сквороди 14, Сквороди 4 та Сквороди 2. Максимальне розходження склало 1,17 мм, а середня квадратична похибка, вирахована за формулою Гауса за різницями з таблиці (2) як для подвійних рівноточних вимірів – $m_p = 0.58$ мм. Це дає підстави рекомендувати для практичних розрахунків лінійну емпіричну залежність (5).

Граничні відхилення колон від вертикалі, обчислені за емпіричними формулами (5) та (6)

Об'єкт	δ_G , мм з формули		різниця	Об'єкт	δ_G , мм з формули		різниця
	(5)	(6)			(5)	(6)	
Нетішин 9	24,73	24,60	0,13	Кубанська 1	28,76	29,17	-0,41
Молокозавод 1	21,50	20,33	1,17	Кубанська 2	28,76	29,17	-0,41
Молокозавод 2	21,50	20,33	1,17	Моріон 2	26,42	26,60	-0,18
Сковороди 1	23,45	22,99	0,46	Моріон 3	26,58	26,79	-0,20
Сковороди 3	23,45	22,99	0,46	Моріон 1	26,42	26,60	-0,18
Сковороди 5	23,45	22,99	0,46	Небесної сотні 1	22,26	21,40	0,86
Сковороди 6	27,43	27,74	-0,30	Небесної сотні 2	22,26	21,40	0,86
Сковороди 8	27,43	27,74	-0,30	Небесної сотні 3	22,26	21,40	0,86
Сковороди 9	27,43	27,74	-0,30	Небесної сотні 4	22,26	21,40	0,86
Сковороди 10	27,43	27,74	-0,30	Небесної сотні 5	22,26	21,40	0,86
Сковороди 11	27,43	27,74	-0,30	Небесної сотні 6	22,26	21,40	0,86
Сковороди 12	27,43	27,74	-0,30	Небесної сотні 7	22,26	21,40	0,86
Сковороди 13	27,43	27,74	-0,30	Небесної сотні 8	22,26	21,40	0,86
Сковороди 14	35,51	35,67	-0,16	Адмін центр	34,80	35,04	-0,24
Київська 1	32,34	32,75	-0,42	Набережний квартал	22,19	21,30	0,89
Київська 2	32,34	32,75	-0,42	Сковороди 14	35,51	35,67	-0,16
Київська 3	32,34	32,75	-0,42	Сковороди 4	23,45	22,99	0,46
Київська 4	32,34	32,75	-0,42	Сковороди 2	23,45	22,99	0,46
Київська 5	32,34	32,75	-0,42				

Висновок. Отримані результати свідчать про таке:

1. Побудовано емпіричну формулу для визначення граничного відхилення колон від вертикалі, яка дає високе значення показника надійності тренду. Вибрано найпростіший варіант формули – пряму лінію, що дозволить досить швидко та просто обчислити граничну похибку.

2. Вдалося підібрати простий аргумент апроксимуючої функції – площу поперечного перерізу бетону з врахуванням площі арматури, віднесена до висоти колони.

3. Емпірична формула побудована за статистичними даними, отриманими на основі методу, що враховує вплив похибок технологічного ланцюжка монтажу на зміну зусиль та опору колони з врахуванням імовірного показника надійності конструкції.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Бачишин Б. Д.* Обґрунтування граничного відхилення залізобетонних колон від вертикалі на основі аналізу їх напружено-деформованого стану / Б. Д. Бачишин, Д. В. Ярмолін // Інженерна геодезія. – К. –2018.– Вип.65. – С. 9–16.
2. *Егоров А. И.* Расчет допустимой технологической погрешности возведения сооружений башенного типа / А. И. Егоров, А. П. Исаев // Інженерна геодезія. – К. – 2002. – Вип.48. – С. 94–99.
3. *Несущие и ограждающие конструкции: СНиП 3.03.01-87* – М.: Стройиздат, 1991. – 192 с.
4. *Староверов В. С.* Методика визначення точності геодезичних робіт при будівництві мостових переходів шляхом моделювання напружено-деформованого стану конструкцій / В. С. Староверов, О. В. Адаменко // Вісник геодезії та картографії. – К. –2009.– №5. – С. 7–12.
5. *Чібіряков В. К.* Визначення точності геодезичних робіт при будівництві аркових мостових опор / В. К. Чібіряков, В. С. Староверов, О. В. Адаменко // Інженерна геодезія. – К. – 2010. – Вип.55. – С. 195–203.

REFERENCES

1. *Bachyshyn, B. D., Yarmolin D. V. (2018).* Obhruntuvannia hranychnoho vidhylennja zalizobetonnykh kolon vid vertykali na osnovi analizu jikh napruzhenodeformovanogo stanu [Justification of the boundary deviation of reinforced concrete columns from the vertical based on the analysis of their stress-strain state]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 65, 9–16 [in Ukrainian].
2. *Jehorov, A. I. & Isajev, A. P. (2002).* Raschet dopustimoj tehnologicheskoy pogreshnosti vozvedenija sooruzhenij bashennogo tipa [Calculation of allowable technological error the construction of tower type structures]. *Inzhenerna geodezija – Engineering geodesy*, 48, 94–99 [in Russian]
3. *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].
4. *Staroverov, V. S. & Adamenko, O.B. (2009).* Metodyka vyznachennja tochnosti heodezychnyx robit pry budivnytsvi mostovykh perekhodiv shljakhom modeljuvannja napruzhenodeformovanoho stanu konstruksiy [Technique of determining the accuracy of geodetic work at the construction of highway stream crossings by modeling the stress-strain state of structures]. *Вісник геодезії та картографії. Visnyk heodeziji ta kartografiji – Bulletin of Surveying and Mapping*, 5, 7–12 [in Ukrainian].
5. *Chibirjakov, V. K. & Staroverov, V. S. & Adamenko, O.B. (2010).* Vyznachennja tochnosti heodezychnyx robit pry budivnytsvi arcovykh mostovykh opor [Determining the accuracy of geodetic work at the building of arch bridge constructions]. *Inzhenerna geodezija – Engineering geodesy*, 55, 195–203 [in Ukrainian].

Б. Д. Бачишин

**ПОСТРОЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКОЙ ФОРМУЛЫ ПРЕДЕЛЬНОГО
ОТКЛОНЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛОНН ОТ ВЕРТИКАЛИ НА
ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ**

Построено упрощенную эмпирическую формулу для практического определения предельного отклонения железобетонных колонн от вертикали на основе метода, который учитывает напряженно-деформированное состояние конструкции, исходя из Гауссова показателя надежности колонны. Формула получена на основе обработки статистических данных различных колонн на разных этажах различных объектов. Исследована линейная и степенная функции для аппроксимирующей кривой. Для удобства практического применения рекомендуется самый простой вариант кривой тренда - линейная. В качестве аргумента кривой использовано площадь поперечного сечения бетона, отнесенную к длине (высоты) колонны. В этой площади учтено площадь арматуры. Линейная эмпирическая зависимость с таким аргументом дала высокое значение показателя надежности тренда.

Ключевые слова: эмпирическая формула, предельное отклонение, напряженно-деформированное состояние, железобетонная колонна.

B. D. Bachyshyn

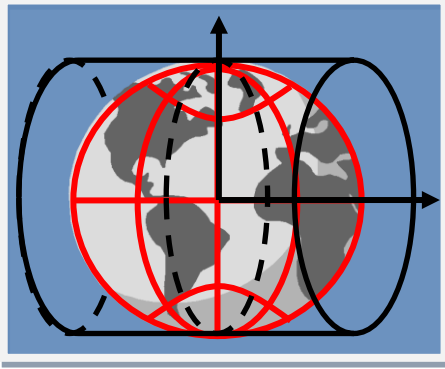
**CONSTRUCTION OF AN EMPIRICAL FORMULA
FOR THE BOUNDARY DEVIATION OF REINFORCED CONCRETE
COLUMNS FROM THE VERTICAL BASED ON THE ANALYSIS
OF THEIR STRESS-STRAIN STATE**

A simplified empirical formula was constructed to the practical determination of the boundary deviation of reinforced concrete columns from the vertical is constructed based on a method that takes into account the stress-strain state of the structure based on the Gaussian reliability index of the column. The formula is derived from the processing of statistics from different columns on different floors of different objects. The linear and power functions for the approximation curve are investigated. For the convenience of practical application, the simplest version of the approximating curve is chosen, the linear one. The argument of the trend curve is the cross-sectional area, related to the length (height) of the column, which takes into account the area of reinforcement due to the ratio of the normative prism strength of the reinforcement to the normative prism strength of concrete. The linear empirical dependence on this argument gave a high value of the trend reliability indicator - the coefficient of determination of R^2 is 0.59.

Keywords: empirical formula, boundary deviations, the stress-strain state, reinforced concrete column.

Надійшла до редакції

01.07.2019



ГЕОІНФОРМАТИКА І КАРТОГРАФІЯ

УДК 528:489

<https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.67.56-66>

Н.Ю. Лазоренко-Гевель, канд. техн. наук,
доц. кафедри геоінформатики і фотограмметрії,
Д.О. Кінь, асп. кафедри геоінформатики і фотограмметрії
Київський національний університет будівництва і архітектури

МЕТОДИКА ЗВЕДЕННЯ ЦИФРОВИХ ТОПОГРАФІЧНИХ КАРТ МАСШТАБУ 1:50 000 ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОСНОВНОЇ ДЕРЖАВНОЇ ТОПОГРАФІЧНОЇ КАРТИ

У статті запропоновано методику зведення цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000 для створення Основної державної топографічної карти. Наведено особливості методики зведення цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000. У роботі розглянуто підхід зведення суміжних аркушів за допомогою інструментальної ГІС. Запропоновано автоматизоване рішення зведення лінійних об'єктів цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000 у програмному середовищі ArcGIS.

Ключові слова: НІГД, зведення, цифрова топографічна карта, Основна державна топографічна карта, ГІС.

Вступ. Створення і розвиток загальнодержавного рівня Національної інфраструктури геопросторових даних потребує актуальних, достовірних і якісних наборів базових геопросторових даних, основою яких є цифрові топографічні карти (ЦТК) масштабів: 1:10 000, 1:50 000 і 1:100 000. Вперше в Україні в рамках українсько-норвезького проекту створюється цілісна База топографічних даних (БТД) Основної державної топографічної карти, вхідними даними до якої є створені (оновлені) цифрові топографічні карти масштабу 1:50 000.

Дослідження пов'язано з виконанням українсько-норвезького проекту «Карти для сприяння належному управлінню землями в Україні» (далі – проект), який розпочався після підписання Угоди між Кабінетом Міністрів України та Урядом Королівства Норвегія про технічне та фінансове співробітництво від 18.10.2016 року та Угоди для реалізації проекту, що укладена між Державною службою України з питань геодезії, картографії та кадастру (Держгеокадастр) і Картографічною службою Королівства Норвегія (SK) від 28.02.2018 року.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз останніх досліджень щодо процесу зведення цифрових топографічних карт свідчить про важливість автоматизованого зведення цифрових топографічних карт для подальшого їх зшивання, створення топологічно узгоджених мереж лінійних об'єктів (наприклад, дорожньої мережі і дорожніх споруд, гідрографії і гідротехнічних споруд) та покриттів полігональних об'єктів (населені пункти, рослинний покрив та ґрунти тощо) [1 – 4].

Постановка завдання. Для забезпечення вимог створення цілісної БТД Основної державної топографічної карти укладено Редакційно-технічні вказівки Створення бази топографічних даних «Основна державна топографічна карта» Створення (оновлення) цифрових топографічних карт (далі – РТВ), які мають особливості та враховують принципи сучасного геоінформаційного підходу до виробництва цифрових топографічних карт. Створення Базы топографічних даних Основної державної топографічної карти як суцільного покриття геопросторових даних на всю територію України має свої технологічні особливості процесу зведення створених (оновлених) цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000.

Метою дослідження є обґрунтування методики зведення цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000 для створення Основної державної топографічної карти, а також дослідження автоматизації зведення суміжних карт засобами ArcGIS.

Основна частина. Цифрові топографічні карти проекту створюються (оновлюються) методом векторизації в Державній геодезичній референційній системі координат УСК-2000 в прямокутних координатах в проекції Гаусса-Крюгера у відповідній 6-градусній зоні (EPSG:5562, EPSG:5563, EPSG:5564, EPSG:5565) в прийнятій державній розграфці топографічних карт в масштабі 1:50 000 у програмному забезпеченні ArcGIS for Desktop 10.5. Однією із особливостей створюваних цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000 є те, що вони є гібридними, оскільки оновлення об'єктів з чіткими контурами (мережі доріг, вулиць, проїздів, кварталів і будинків, ліній електропередач (напругою більше 35 кВ)) виконується з детальністю та точністю масштабу 1:10 000 (допустима середня квадратична похибка – 3 м), а оновлення всіх інших об'єктів – з точністю масштабу 1:50 000 (допустима середня квадратична похибка – 25 м).

Векторні моделі зведених цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000 є вхідними даними для створення Базы топографічних даних Основної державної топографічної карти. Зведення аркушів цифрових топографічних карт масштабу 1:50000 по всіх рамках із суміжними оновленими аркушами карт.

Існує два підходи до реалізації процесу зведення:

- 1) за допомогою інструментальної ГІС зводити від одного до чотирьох аркушів карт;
- 2) за допомогою системою керування базами даних (далі – СКБД) зводити множину аркушів карт.

Оскільки вимогою Технічного завдання проекту є виконання зведення до етапу завантаження зведених оновлених цифрових топографічних карт до СКБД,

то у статті розглядається перший підхід, який детально не було досліджено в літературі.

Пропонуємо такі аспекти методики зведення цифрових топографічних карт масштабу 1:50000 для створення Основної державної топографічної карти в ArcGIS:

1) величина максимальної відстані між геопросторовими об'єктами повинна бути визначеною у функції зведення з урахуванням середньої квадратичної помилки положення об'єктів, а саме 28 м для масштабу 1:50 000 і 5,6 м для масштабу 1:10 000;

2) цифрові карти зводяться з урахуванням геометрії та атрибутів геопросторових об'єктів (якщо об'єкти мають однакові атрибути та відстань між ними не перевищує максимальної середньої квадратичної похибки положення об'єктів);

3) координати вузлів суміжних об'єктів мають бути однакові і знаходитись геометрично на рамці;

4) цифрові карти створюються з урахуванням топологічних відношень між геопросторовими об'єктами;

5) автоматизоване зведення дає можливість усувати розбіжності: невеликі прогалини в даних, пропущені об'єкти та об'єкти, які дублюються;

б) зведення аркушів цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000 по всіх рамках із суміжними оновленими аркушами карт (рис. 1).

Вхідними даними для зведення аркушів створених (оновлених) цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000 є від двох до чотирьох суміжних аркушів у вигляді оновлених баз геоданих *.gdb.

Приклади зведення лінійних і площинних об'єктів подано на рисунках 2 – 4.

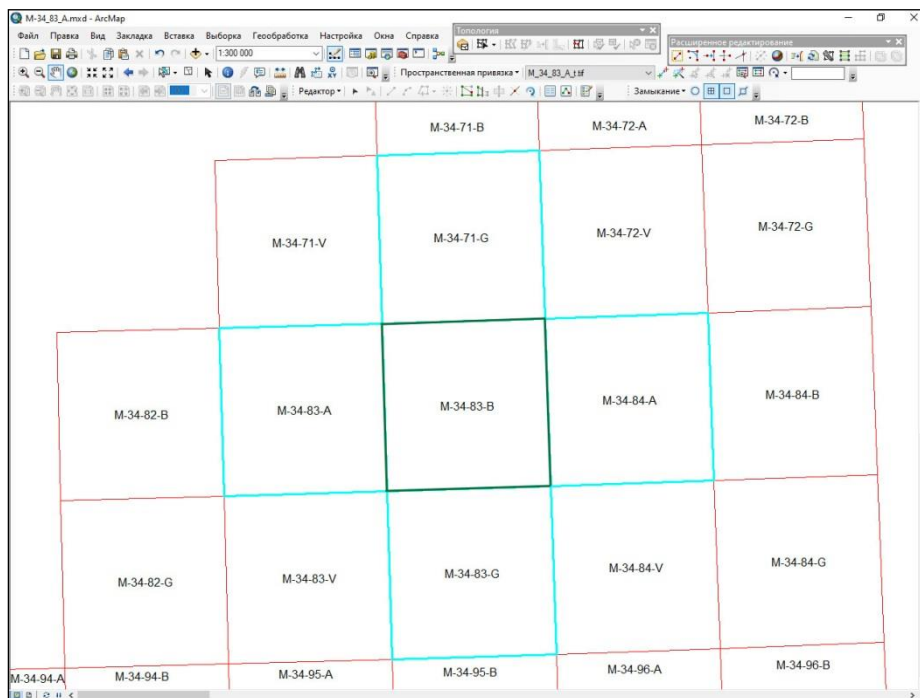


Рис. 1. Приклад зведених рамок аркуша М-34-83-В із суміжними рамками аркушів у проекті ArcGIS

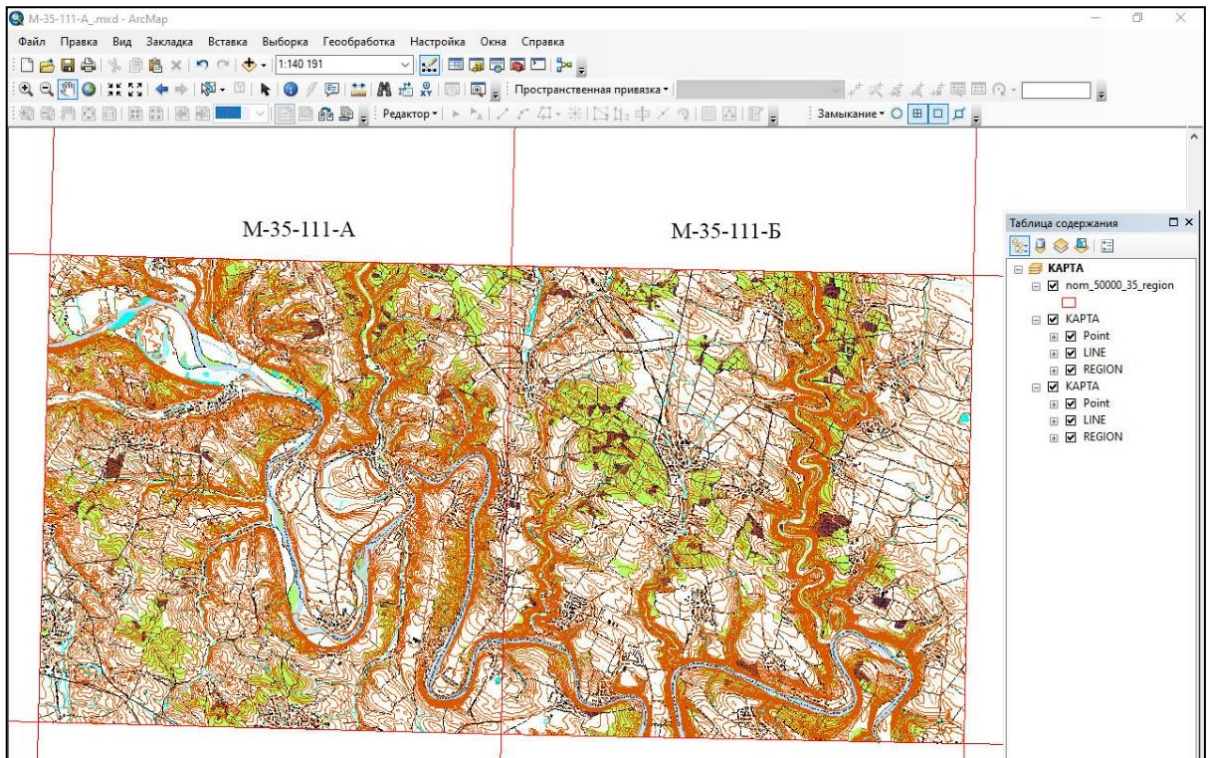


Рис. 2. Приклад зведених двох суміжних оновлених ЦТК

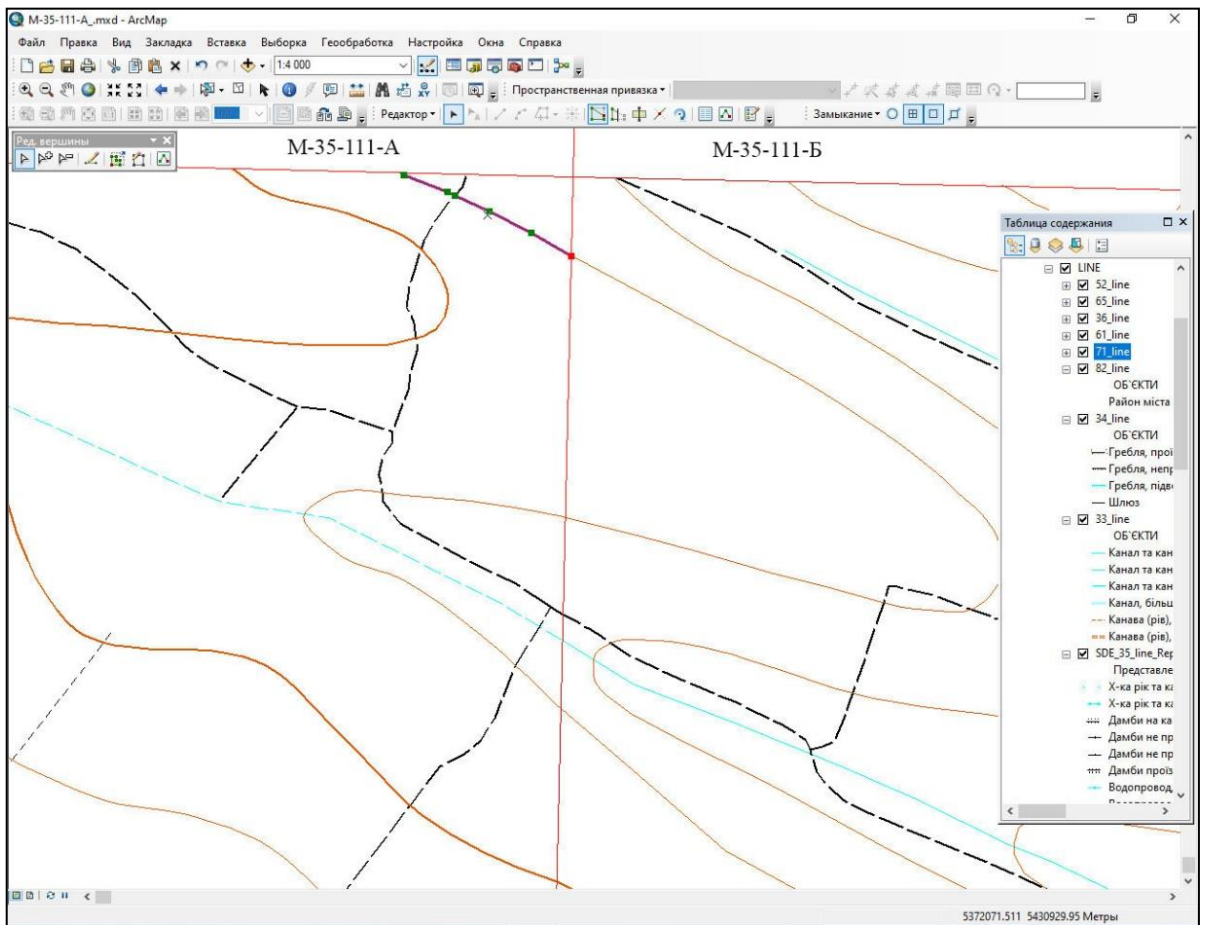


Рис. 3. Приклад зведення лінійного об'єкта (горизонталь) двох суміжних аркушів оновлених ЦТК

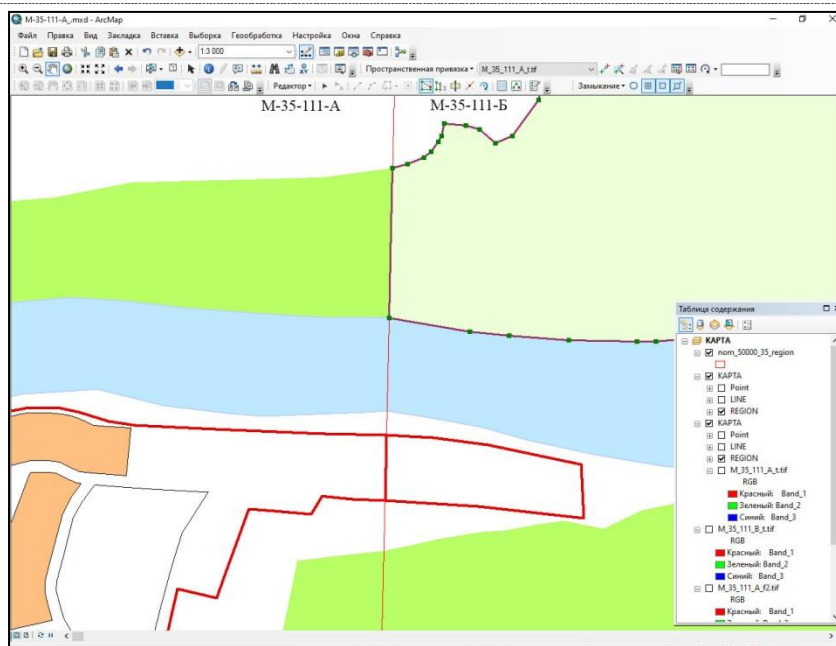


Рис. 4. Приклад зведення полігональних об'єктів (ліс та населений пункт) двох суміжних аркушів оновлених ЦТК

Під час зведення цифрових топографічних карт у ArcGIS виявлено величину розходження між рамками аркушів на межах зон проєкції Гаусса-Крюгера, яка становить 1 – 8 мм на місцевості, оскільки у роботі [5] встановлено, що стандартні засоби геоінформаційної системи ArcGIS для геодезичних та картометричних операцій використовують формули Гаусса на площині без врахування картографічних проєкцій та кривизни Землі (рис. 5). Для вирішення цієї проблеми було створено еталонну рамку номенклатурних аркушів цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000, яку розраховано за аналітичними методами визначення координат геопросторових об'єктів у проєкції Гаусса-Крюгера у відповідних 6-градусних зонах.

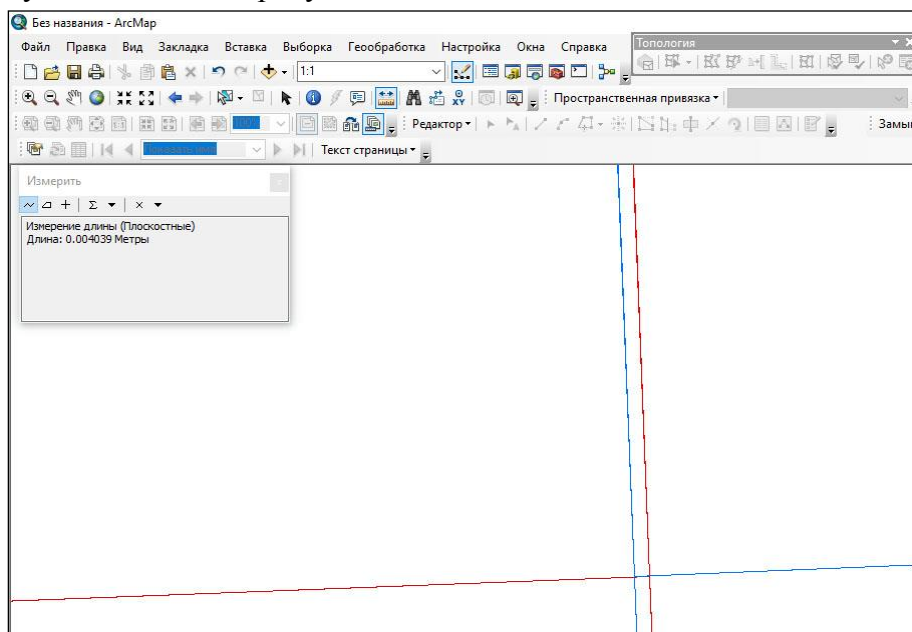


Рис. 5. Розходження між рамками аркушів у 4-ій і 5-ій зонах проєкції Гаусса-Крюгера

Тепер розглянемо більш детально зведення суміжних аркушів створених (оновлених) цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000, які належать до однієї 6-градусної зони проекції Гаусса-Крюгера. Зведення суміжних аркушів створених (оновлених) цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000 було досліджено за допомогою інструментів ПЗ ArcGIS: Generate Edgematch Links (Побудувати зв'язки для подгонки границ) та EdgeMatch Features (Подгонка границ объектов).

Для зведення двох суміжних аркушів цифрових топографічних карт спочатку було використано інструмент Generate Edgematch Links (Побудувати зв'язки для подгонки границ). Цей інструмент знаходить зіставлені, але не з'єднані, лінійні об'єкти вздовж меж області вхідних даних однієї карти і області суміжних даних другої карти, і створює зв'язки для інструмента EdgeMatch Features (Подгонка границ объектов) від вхідних ліній однієї карти до відповідних суміжних ліній другої карти. Нижче наведено приклади використання інструментів Generate Edgematch Links (Побудувати зв'язки для подгонки границ) та EdgeMatch Features (Подгонка границ объектов) для класу об'єктів 21_line Сегменту 2 «Рельєф суші» і класу об'єктів 62_line Сегменту 6 «Дорожня мережа і дорожні споруди».

Параметр Search Distance (Расстояние поиска) використовується для пошуку кандидатів для зіставлення (рис. 6, 7). За допомогою інструмента «Лінійка» визначено достатню відстань для отримання більшої частини зсувів між відповідними об'єктами, але не велику, щоб викликати непотрібну обробку занадто великого числа кандидатів, що може привести до потенційно неправильних зіставлень в зведенні.

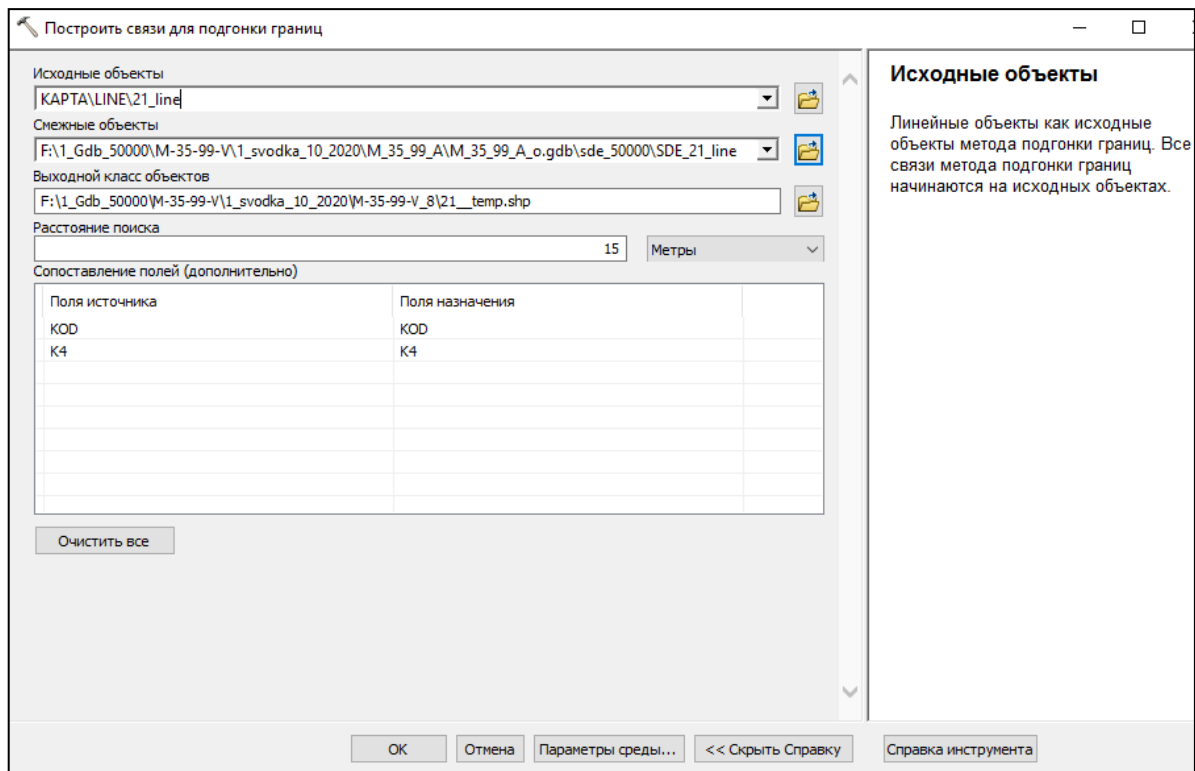


Рис. 6. Вікно інструмента Generate Edgematch Links для класу об'єктів 21_line

Додатково виконано співставлення атрибутів кожного аркуша цифрової топографічної карти Match Fields (Сопоставление полей), у наслідок чого було сформовано перелік обов'язкових атрибутів класів об'єктів. Для класу об'єктів 21_line для Сегменту 2 «Рельєф суші» визначено обов'язкові атрибути: код топографічного об'єкта, абсолютна висота, а для класу об'єктів 62_line Сегменту 6 «Дорожня мережа і дорожні споруди» – обов'язкові атрибути такі як: стан, міжнародний, національний, регіональний номери доріг тощо.

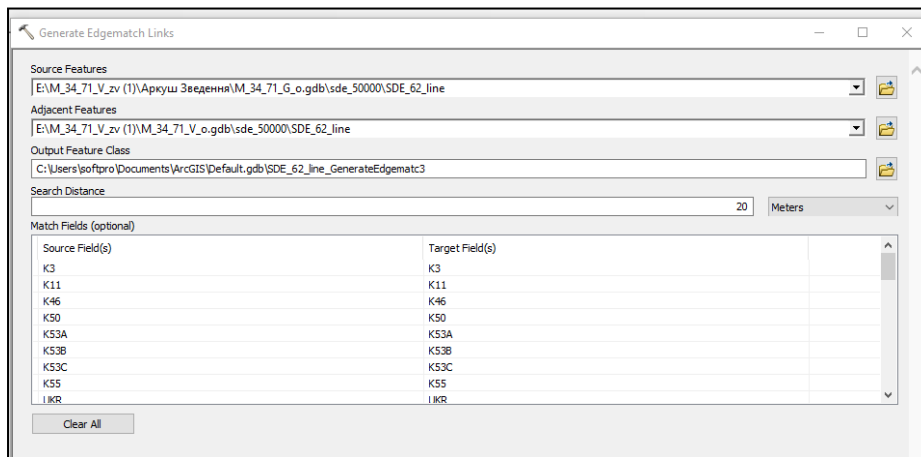


Рис. 7. Вікно інструмента Generate Edgematch Links для класу об'єктів 62_line

В результаті отримано такі лінійні об'єкти-зв'язки (рис. 8). Після побудови лінійних об'єктів-зв'язків було використано інструмент – EdgeMatch Features (Подгонка границ объектов), який змінює вхідні лінійні об'єкти за допомогою просторового зрівняння їх форм на основі заданих зв'язків інструментом Generate Edgematch Links (Построить связи для подгонки границ), щоб вони з'єдналися з лініями в суміжному наборі даних.

У EdgeMatch Features (Подгонка границ объектов) було використано Method (Метод) – Move_ENDPOINT, що задовольняє раніше визначенні вимоги до методики зведення. Результат подано на рисунках 9 – 10.

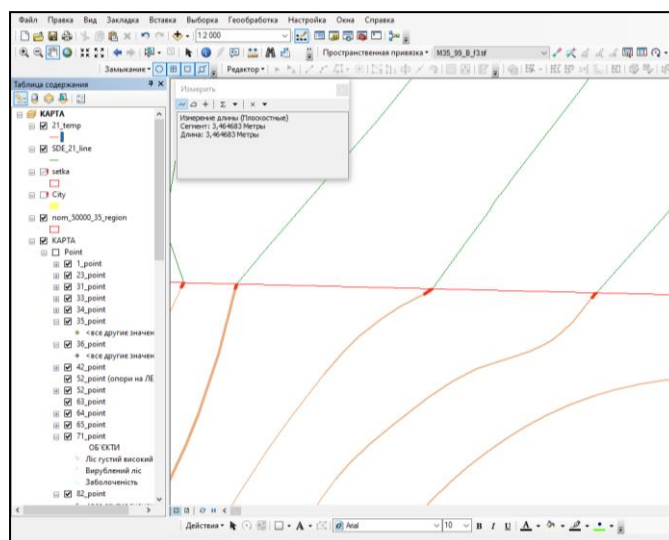


Рис. 8. Лінійні об'єкти-зв'язки на класі об'єктів 21_line

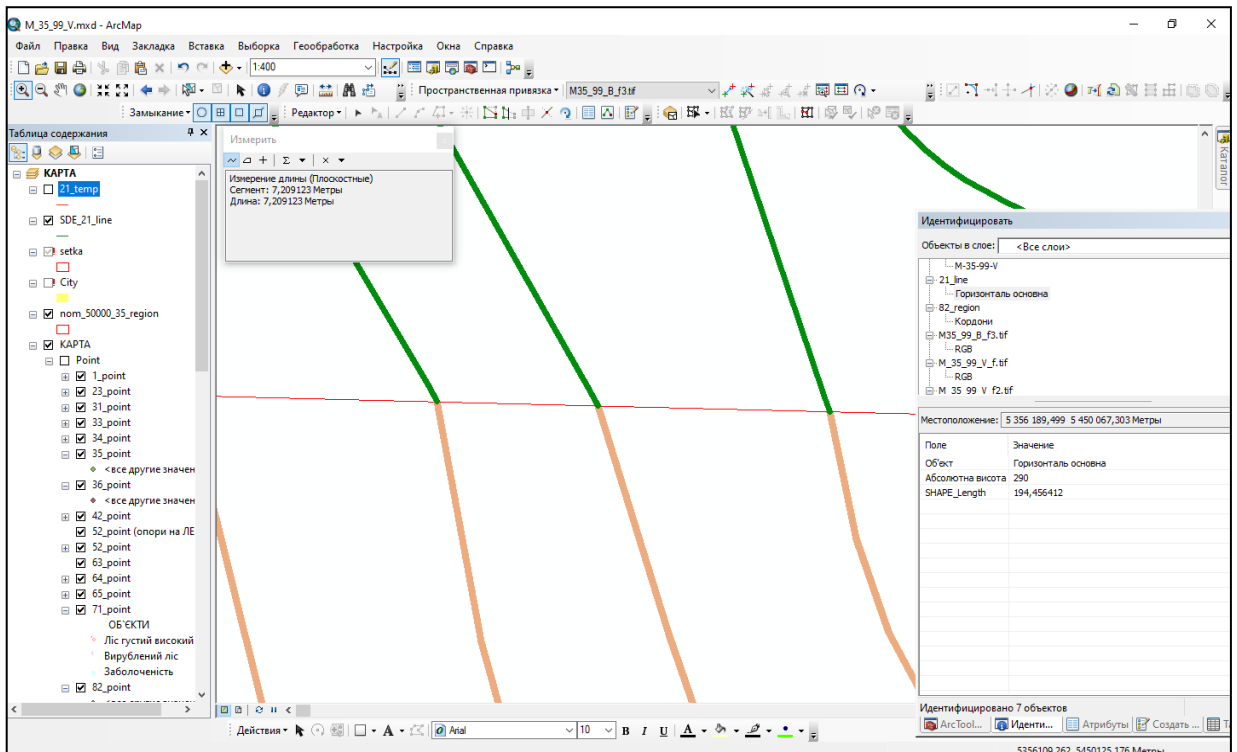


Рис. 9. Результат зведення класу об'єктів 21_line

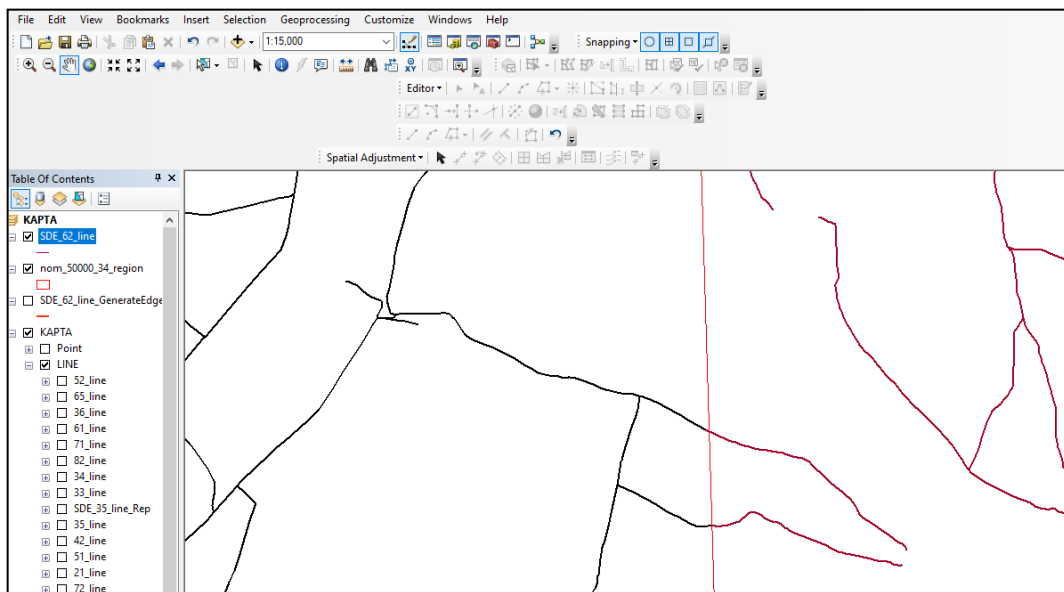


Рис. 10. Результат зведення класу об'єктів 62_line

Якщо виникають суперечності на суміжних аркушах оновлених цифрових топографічних карт, які зводяться, наприклад, різний топографічний код об'єктів класу або відрізняються атрибутивні дані (рис. 11), то для цих двох суміжних карт необхідно використовувати ортофотоплани масштабу 1:10 000, растрові моделі тиражних відбитків топографічних карт масштабу 1:50 000; додаткові та довідкові дані і матеріали, щоб визначити який насправді відображено топографічний об'єкт місцевості і які атрибути є достовірними і актуальними.

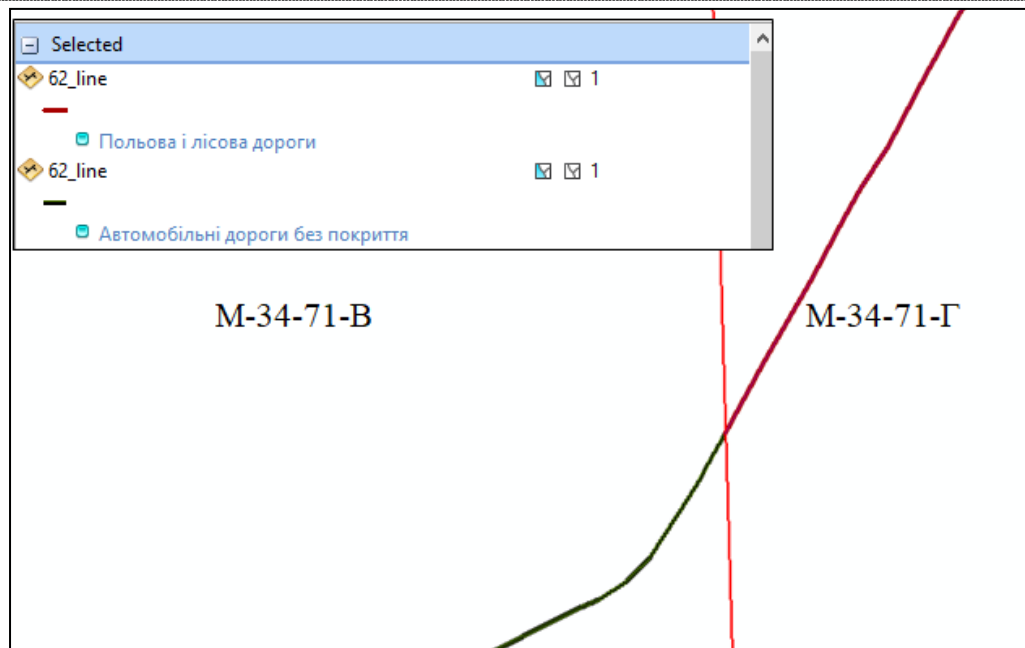


Рис. 11. Приклад суперечностей на суміжних аркушах в класі об'єктів 62_line

Висновки. Запропоновану методику зведення цифрових топографічних карт було застосовано для узгодження країв рамок суміжних аркушів топографічних карт масштабу 1:50 000, яка має свої особливості.

Дотримання запропонованих вимог до зведення цифрових топографічних карт підвищить якість зведених оновлених цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000 для створення Основної державної топографічної карти.

Досліджено проблему зведення цифрових топографічних аркушів масштабу

1:50 000 на межах зон проекції Гаусса-Крюгера, встановлено що ArcGIS не враховує картографічні проекції та кривизни Землі під час виконання геодезичних і картометричних операцій. Для вирішення цієї проблеми автори пропонують розроблення програмного комплексу в середовищі ГІС для виконання геодезичних та картометричних операцій строгими аналітичними методами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *INSPIRE* Drafting Team "Data Specifications". Drafting Team "Data Specifications" – deliverable D2.6: Methodology for the development of data specifications / *INSPIRE* Drafting Team "Data Specifications" // *INSPIRE* Drafting Team "Data Specifications". – 2007. – Retrieved from: https://inspire.ec.europa.eu/reports/ImplementingRules/inspireDdataspecD2_6v2.0.pdf.

2. *Geoscience* Australia topographic data and map specifications for the National Topographic Database & NTMS series 1:250 000 & 1:100 000 scale topographic map products / *Geoscience* Australia // *Geoscience* Australia Department of Resources, Energy and Tourism. – 2012. – Retrieved from: <http://www.ga.gov.au/mapspecs/topographic/v6/section3.html>.

3. *Xin Chang Zhang*. Geometric Feature-based Edge-Matching/ *Xin Chang Zhang* // "GeoComputation CD-ROM". – 1998. – Retrieved from: http://www.geocomputation.org/1998/99/gc_99.htm.
4. *MD. Mosharaf Hossain*. Possibility of spatial data infrastructure (SDI) application / *MD. Mosharaf Hossain*. // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. – 2008. – p. 153–162. Retrieved from: https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/4_pdf/29.pdf.
5. *Карпінський Ю. О.* Дослідження картометричних операцій в середовищі ГІС/ *Ю. О. Карпінський, Д. О. Кінь* // Містобудування та територіальне планування. – 2018. – Вип. 68. – С. 706–711.

REFERENCES

1. INSPIRE Drafting Team “Data Specifications” (2007). Drafting Team “Data Specifications” – deliverable D2.6: Methodology for the development of data specifications. Retrieved from: https://inspire.ec.europa.eu/reports/ImplementingRules/inspireDdataspecD2_6v2.0.pdf.
2. *Geoscience Australia* (2012). Geoscience Australia Topographic Data and Map Specifications for the National Topographic Database Production Information. Geoscience Australia Department of Resources, Energy and Tourism. Retrieved from: <http://www.ga.gov.au/mapspeccs/topographic/v6/section3.html>.
3. *Xin Chang Zhang* (1998). Geometric Feature-based Edge-Matching. “GeoComputation CD-ROM”. Retrieved from: http://www.geocomputation.org/1998/99/gc_99.html.
4. *MD. Mosharaf Hossain* (2008). Possibility of Spatial Data Infrastructure (SDI) Application. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. pp. 153–162. Retrieved from: https://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/4_pdf/29.pdf.
5. *Karpinskyi Yu., & Kin D.* (2018). Doslidzhennya kartometrychnykh operatsiy v seredovyshchi GIS [Research cartometric operations in the environment of GIS]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and spatial planning*, 68, 706 – 711 [in Ukrainian].

Н. Ю. Лазоренко-Гевель, Д. А. Конь

МЕТОДИКА СВОДКИ ЦИФРОВЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТ МАСШТАБА 1:50 000 ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОСНОВНОЙ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ КАРТЫ

В статье предложена методика сводки цифровых топографических карт масштаба 1:50 000 для создания Основной государственной топографической карты. Приведены особенности методики сводки цифровых топографических карт масштаба 1:50 000. В работе рассмотрен подход сводки смежных листов с помощью инструментальной ГИС. Предложено автоматизированное решение сводки линейных объектов цифровых топографических карт масштаба 1:50 000 в программной среде ArcGIS.

Ключевые слова: НИГД, сводка, цифровая топографическая карта, Основная государственная топографическая карта, ГИС.

N. Lazorenko-Hevel, D. Kin

**THE EDGE MATCHING METHOD OF DIGITAL TOPOGRAPHIC
MAPS IN THE SCALE OF 1:50 000 FOR CREATION THE MAIN STATE
TOPOGRAPHIC MAP**

The article proposes the research of some aspects of the edge matching method of digital topographic maps in the scale of 1:50 000 for creation single seamless Topographic Database of the Main State Topographic Map in Ukraine within the framework of the Ukrainian-Norwegian project.

The single seamless Topographic Database of the Main State Topographic Map (hereinafter – Topographic Database) is being created for the first time in Ukraine for the creation and development of the National Spatial Data Infrastructure which requires relevant, reliable and high-quality Core Reference Datasets which based on digital topographic maps.

This research considers the edge matching of the updated digital topographic maps before the uploading into Topographic Database. Compliance with the proposed requirements for the edge matching of the updated digital topographic maps will raise the quality of the edge matched updated digital topographic maps in the scale of 1:50 000 for creation the seamless Topographic Database of the Main State Topographic Map. During researching of the edge matching method of the updated digital topographic maps in the scale 1:50 000 was defined that the transformation of coordinates from one zone of the Gauss-Krueger projection to another executes with insufficient accuracy for the usage of analytical methods in ArcGIS.

Key words: NIGD, edge matching, digital topographic map, Main State Topographic Map, GIS.

Надійшла до редакції

06.07.2019

Ю.О. Карпінський, д-р. техн. наук, проф.,
завідувач кафедри геоінформатики і фотограмметрії,
А.А. Лященко, д-р. техн. наук, проф.,
професор кафедри геоінформатики і фотограмметрії,
Н.Ю. Лазоренко-Гевель, канд. техн. наук, доц.,
доцент кафедри геоінформатики і фотограмметрії,
Київський національний університет будівництва та архітектури,
А.Г. Черін, канд. техн. наук, провідний науковий співробітник,
Науково-дослідний інституту геодезії і картографії

АРХІТЕКТУРА ТА ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ БАЗИ ТОПОГРАФІЧНИХ ДАНИХ

У статті обґрунтовано модельно-керовану архітектуру та функціональну модель геоінформаційної системи бази топографічних даних «Основна державна топографічна карта», первинне наповнення якої здійснюється на основі оновлених цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000. Пропоновані рішення відповідають міжнародним стандартам в сфері географічної інформації, а їх реалізація забезпечує комплексне застосування новітніх геоінформаційних технологій та баз геопросторових даних для створення безшовної бази топографічних даних на усю територію України із широким доступом до неї зацікавлених користувачів на геопорталі системи. До основних особливостей та новацій створюваної бази топографічних даних належать: повнота класів топографічних об'єктів та їх атрибутів, яка забезпечує моделювання та зберігання в базі даних усіх об'єктів, що відображаються на топографічних картах; комплексна система ідентифікації топографічних об'єктів в базі даних, за якої кожному топографічному об'єкту присвоюється унікальний топографічний ідентифікатор, а також код за відповідним галузевим класифікатором, якщо такий існує; цілісність геометричних моделей топографічних об'єктів, за якої об'єкти не фрагментуються границями аркушів топографічних карт, на яких вони відображаються; топологічна узгодженість геометричних моделей топографічних об'єктів на рівні топології планарного графу для усіх суміжних об'єктів та об'єктів, що перетинаються; підтримка метаданих як для класів топографічних об'єктів, так і для конкретних їх екземплярів та їх атрибутів; використання об'єктно-реляційної системи керування базами даних для реалізації інтегрованого сховища усіх інформаційних ресурсів системи; гармонізація моделей геопросторових даних і метаданих, форматів обміну даними, методів та процедур оцінювання якості даних з вимогами відповідних міжнародних стандартів комплексу ISO 19100; оперативне оновлення даних в базі даних за результатами постійного топографічного моніторингу місцевості; забезпечення широкого та відкритого доступу до топографічних даних через геопортал системи.

Ключові слова: топографічне картографування, база топографічних даних, національна інфраструктура просторових даних, геопортал, геоінформаційна система, геопросторові дані.

Вступ. В сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційно-комунікаційних та цифрових технологій бази топографічних даних стають переважаючим видом кінцевої топографо-геодезичної продукції. В «Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 4 вересня 2013 р. № 661, визначено, що створення та оновлення топографічних карт здійснюється із застосуванням геоінформаційних технологій, які уніфікують засоби формування і використання баз топографічних і картографічних даних у топографо-геодезичному і картографічному виробництві.

Єдина безшовна база топографічних даних «Основна державна топографічна карта» на основі оновлених топографічних карт масштабу 1:50 000 вперше створюється в Україні в рамках українсько-норвезького проекту «Карти для сприяння належному управлінню землями в Україні». В пропонованій статті обґрунтовано принципи створення, архітектура та функціональна модель спеціалізованої геоінформаційної системи бази топографічних даних «Основна державна топографічна карта» (ГІС БТД).

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В 35-річній еволюції застосування геоінформаційних технологій для топографічного картографування в різних країнах [5, 7 – 10] можна виділити такі спільні основні етапи:

- використання ГІС для автоматизованого картографування;
- створення баз цифрових карт;
- створення баз топографічних даних;
- створення геоінформаційних сервісів використання топографічних даних в НІГД.

Ця етапність відображає процеси трансферу топографічних знань про Землю, які традиційно накопичувалися в паперових топографічних картах різних масштабів, у формалізовані знання в базах топографічних даних. Зміст топографічних карт перетворюється в топографічні геопросторові дані, структуровані в теми і типи об'єктів баз топографічних даних. Ці бази даних забезпечують безшовні об'єктно-структуровані геопросторові дані на національному рівні, які використовуватимуться в веб-сервісах НІГД, в ГІС-додатках для просторового аналізу і моделювання та для створення картографічної продукції [5].

Ще у 1987 р. W.A. Kainz підкреслював: «коли ми намагаємось створити моделі для картографічних об'єктів, то найчастіше поглядаємо на звичайні карти, тобто моделюємо модель реальності, а не саму реальність. У майбутній роботі основна увага має бути спрямована на пошук концепцій та абстракцій фактів реального світу» [6]. Створення баз топографічних даних в багатьох країнах свідчить про перехід до реалізації концепції моделювання об'єктів реального світу, а не лише їх картографічних моделей. Це дає підстави говорити про становлення нової системи топографічного виробництва, яка сформувалася на основі інтегрування нових цифрових технологій отримання даних про місцевість,

їх опрацювання та організації цифрових моделей місцевості в базах топографічних даних та їх багатоцільового використання в НІГД [2 – 5].

В Україні в 2005 – 2010 рр. розроблено комплекс стандартів «База топографічних даних» [3], що гармонізовані з міжнародними стандартами серії ISO 19100 «Географічна інформація/Геоматика». Практичне впровадження цих стандартів та створення однорідної бази топографічних даних на усю територію країни відклалося на роки. Це можна пояснити тим, що проблеми БТД та НІГД не були пріоритетними в нашій країні в роки складних трансформацій на шляху до ринкової економіки. Але для прийняття проекту Закону України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» [1] та подальшої його імплементації першочергово необхідно створити умови для виробництва інтероперабельних геопросторових даних усіма держателями даних, до яких згідно проекту закону належать органи державної влади, органи місцевого самоврядування, фізичні або юридичні особи, що замовляють, отримують та/або володіють геопросторовими даними та метаданими. Це зумовлює нагальність завдань щодо створення бази топографічних даних як ключового засобу в забезпеченні інтероперабельності компонентів НІГД шляхом використання єдиної математичної основи та єдиних цифрових моделей об'єктів реального світу при виробництві наборів геопросторових даних та геоінформаційних сервісів мережі геопорталів НІГД.

Постановка завдання. Створити ГІС БТД «Основна державна топографічна карта» за принципами, що відображають тенденції розвитку геоінформаційних технологій топографічного картографування та ключову роль топографічних даних в НІГД, а саме:

- безстроковість використання та експлуатації БТД;
- забезпечення сталості розвитку ГІС БТД в умовах постійних новацій в сфері інформаційних технологій;
- повнота класів топографічних об'єктів та їх атрибутів, яка забезпечує моделювання та зберігання в БТД усіх об'єктів, що відображаються на топографічних картах;
- комплексна система ідентифікації топографічних об'єктів в БТД, за якої кожному топографічному об'єкту присвоюється унікальний топографічний ідентифікатор, а також код за відповідним галузевим класифікатором, якщо такий існує;
- цілісність геометричних моделей топографічних об'єктів, за якої об'єкти не фрагментуються границями аркушів топографічних карт, на яких вони відображаються;
- топологічна узгодженість геометричних моделей топографічних об'єктів на рівні топології планарного графу для усіх суміжних об'єктів та об'єктів, що перетинаються;
- підтримка метаданих як для класів топографічних об'єктів, так і для конкретних їх екземплярів та їх атрибутів;
- використання об'єктно-реляційної системи керування базами даних (ОР СКБД) для реалізації інтегрованого сховища усіх інформаційних ресурсів системи;

– гармонізація моделей геопросторових даних і метаданих, форматів обміну даними, методів та процедур оцінювання якості даних з вимогами відповідних міжнародними стандартами комплексу ISO 19100;

– оперативне оновлення даних в ГІС БТД за результатами постійного топографічного моніторингу місцевості;

– забезпечення широкого та відкритого доступу для використання топографічних даних в НІГД через геопортал системи.

Метою цієї публікації є огрунтування архітектури та функціональної моделі ГІС БТД, реалізація яких найповніше відповідає сформульованим принципам створення бази топографічних даних загальнодержавного рівня.

Основна частина. Архітектура ГІС БТД. Для реалізації принципів безстроковості використання та забезпечення сталості її розвитку в умовах постійних новачій в сфері інформаційних технологій ГІС БТД створюється за методологією модельно-керованої архітектури (МКА). Ключовим компонентом МКА (рис. 1) є високорівневе формалізоване подання знань про моделі топографічних даних у спосіб, який надає можливість ефективно використовувати нові методи і засоби реалізації моделей при модифікації системи в процесі її експлуатації та розвитку в умовах постійного вдосконалення інструментальних засобів інформаційних технологій. Формалізовані знання подаються в прикладній схемі та каталозі класів об'єктів БТД як концептуальна модель топографічних даних з використанням уніфікованої мови моделювання UML та незалежно від конкретного середовища реалізації бази даних. Схеми реалізації для різних методів (наприклад: реляційна або об'єктно-реляційна база даних, XML-файли обміну даними, веб-сервіси) та для конкретних середовищ реалізації отримуються переважно автоматично із формального опису прикладної схеми. Зміни вимог до інформації застосовуються до прикладної схеми та ніколи безпосередньо до її реалізації.

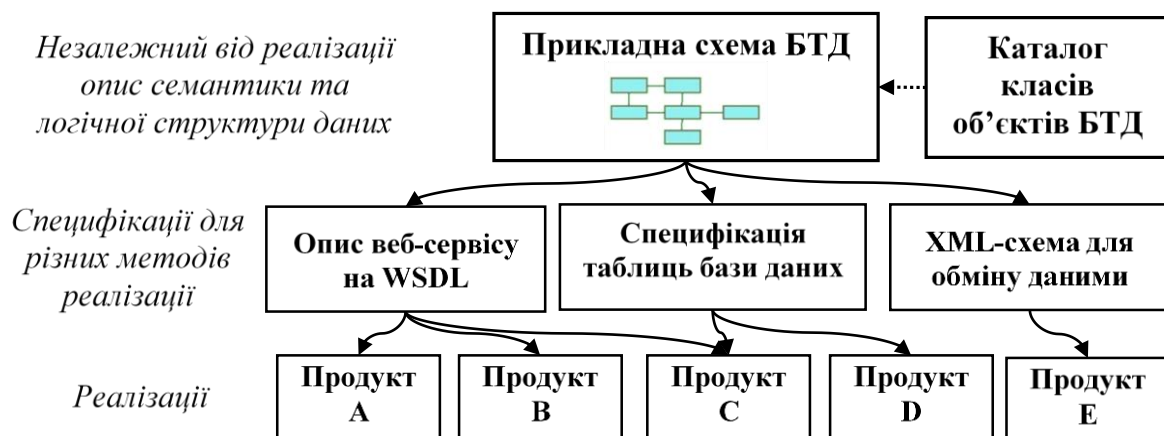


Рис. 1. Схема модельно-керованої архітектури створення БТД

Типи топографічних об'єктів, їх атрибути, асоціації та обмеження, визначаються у прикладній схемі та подаються у каталозі об'єктів у відповідності до ДСТУ ISO 19110:2017 «Географічна інформація. Методологія каталогізації об'єктів (ISO 19110:2016, IDT)» та ДСТУ 8774:2018 «Географічна інформація. Правила моделювання геопросторових даних». Як окремі типи топографічних

об'єктів розглядаюся лише узагальнені топографічні сутності, а різновиди сутностей описуюся через значення певних атрибутів узагальненого класу (наприклад, тип або категорія дороги, тип забудови тощо). До основних груп типів об'єктів належать: елементи математичної, планової і висотної основи; рельєф суші; гідрографія і гідротехнічні споруди; населені пункти; промислові, сільськогосподарські та соціально-культурні об'єкти; дорожня мережа і дорожні споруди; рослинний покрив та ґрунти; політико-адміністративний устрій, огорожі і окремі природні явища та об'єкти.

В прикладній схемі також описуються обмеження та правила топологічної узгодженості геометричних елементів векторних моделей як об'єктів одного типу, так і об'єктів різних типів. Для типів топографічних об'єктів, які за своїм походженням та функціями належать до природних або інфраструктурних мереж (гідрографічна мережа, дороги та дорожні споруди, тощо) в прикладній схемі та каталозі об'єктів додатково описуються типи об'єктів, що використовуються для відображення і реалізації в базі топографічних даних їх сегментно-вузлових топологічних моделей.

Структурно-функціональна модель ГІС БТД. База топографічних даних реалізується як інтегрована систем засобів керування бази даних, інструментальної геоінформаційної системи та спеціалізованих прикладних програм і обладнання для ефективного керування усіма технологічними процесами формування та використання бази топографічних даних на основі вхідних даних цифрових топографічних карт. За технологічно-функціональними ознаками в структурі системи ГІС БТД (рис. 2) виділено шість функціональних підсистем (ПС), які забезпечують:

- вхідний контроль вихідних наборів цифрових картографічних даних (ЦКД) на їх відповідність каталогу об'єктів цифрових топографічних карт масштабу 1:50 000 і топологічну узгодженість їх геометрії;
- перетворення вихідних ЦКД у набори даних, що відповідають каталогу типів об'єктів БТД;
- зшивання геометричних елементів об'єктів, що фрагментовані границями аркушів топографічних карт;
- присвоєння унікальних ідентифікаторів топографічним об'єктам;
- формування первинних метаданих для топографічних об'єктів; завантаження даних в оперативну БТД та метаданих;
- редагування даних оперативної БТД та метаданих за результатами контролю внутрішньої якості даних БТД і топографічного моніторингу місцевості;
- експорт даних з оперативної БТД в БТД геопорталу та файли наборів даних у форматах: GML, shp-файли цифрових картографічних даних, GeoJSON тощо.

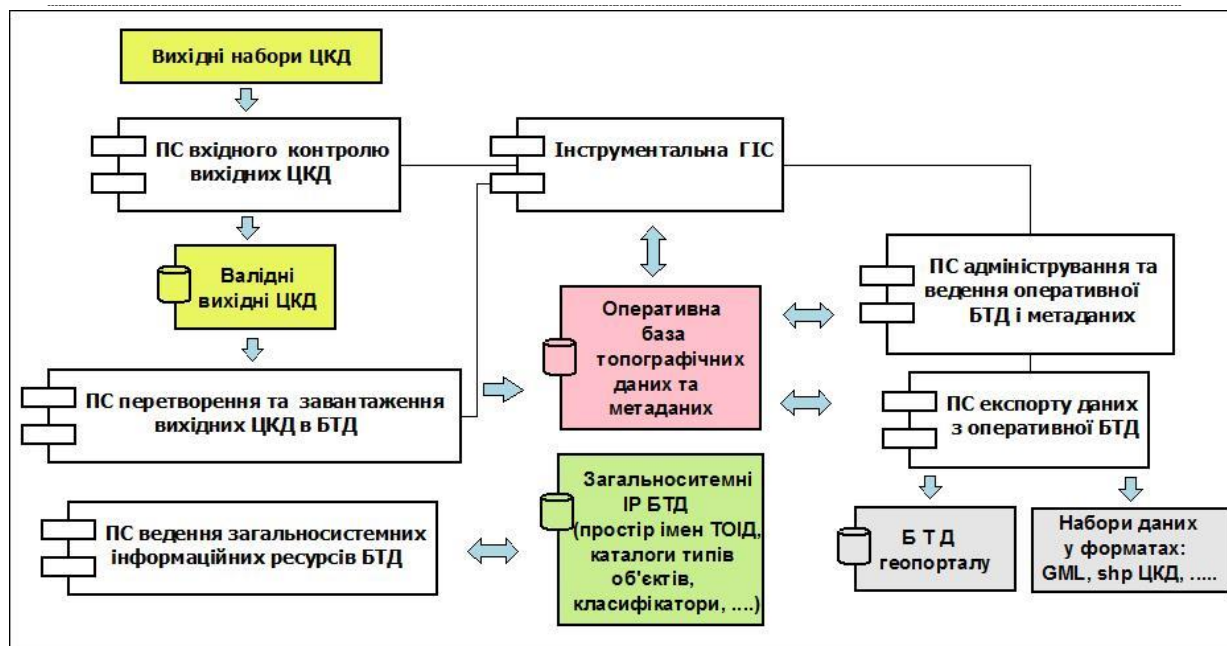


Рис. 2. Загальна структурно-функціональна модель ГІС БТД

Інструментальна ГІС використовується для візуалізації електронних карт та редагування топографічних даних БТД за результатами контролю внутрішньої якості даних БТД і топографічного моніторингу місцевості в процесі створення та експлуатації системи. Розглянемо докладніше призначення та особливості реалізації основних функціональних підсистем ГІС БТД.

Для первинного наповнення БТД використовуються ЦКД, що містять шари геометрично узгоджених векторних моделей аркушів топографічних карт масштабу 1:50 000 у форматах gdb бази геоданих ГІС ArcMap. Кодування типів об'єктів та їх атрибутів вихідних ЦКД відповідає чинному в Україні «Класифікатору інформації, яка відображається на топографічних картах масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000» та редакційно-технічним вказівкам (РТВ) на виготовлення цифрових моделей топографічних карт масштабу 1:50 000. ПС вхідного контролю вихідних наборів цифрових картографічних даних (ІQC-підсистема) забезпечує перевірку внутрішньої якості кожного набору ЦКД за такими елементами якості геопросторових даних:

концептуальна узгодженість – відповідність набору концептуальній схемі ЦКД за набором шарів (класів) об'єктів та набором атрибутів кожного класу;

доменна узгодженість – відповідність значень усіх атрибутів кожного класу значенням, визначеним в РТВ;

топологічна узгодженість – відповідність геометричних елементів векторних моделей об'єктів набору правилам цифрового опису та правилам топологічних відношень як між об'єктами одного шару, так і між об'єктами різних класів, що визначені в РТВ;

координатно-топологічна узгодженість об'єктів суміжних аркушів цифрових топографічних карт як одного набору ЦКД, так і суміжних аркушів з інших наборів ЦКД.

Функції IQC-підсистеми реалізуються засобами інструментальної ГІС ArcMap. Для цього в програмі ArcCatalog створено каталог об'єктів вхідних наборів ЦКД, що містить повний опис класів об'єктів, доменів значень їх атрибутів, топологічних правил і обмежень. За результатами роботи IQC-підсистеми за необхідності використовуються засоби ArcMap для редагування бази геоданих вихідних ЦКД для усунення виявлених помилок та отримання валідних ЦКД, які повністю відповідають вимогам до якості геопросторових даних, визначеними в каталозі об'єктів вхідних наборів ЦКД та РТВ.

Підсистема перетворення та завантаження вихідних цифрових картографічних даних в БТД (TSL-підсистема від англ.: *Transformation, Stitching, Loading*) забезпечує перетворення, зшивання та завантаження наборів валідних вихідних ЦКД в базу топографічних даних. Для реалізації функцій TSL-підсистема використовує такі компоненти інформаційного забезпечення ГІС БТД, що зберігаються в однорідному середовищі сховища даних системи ОР СКБД PostgreSQL/PostGIS:

- а) валідні набори вихідних ЦКД, що підлягають перетворенню і завантаженню;
- б) шлюзову базу геопросторових даних ЦКД;
- в) оперативну базу топографічних даних і метаданих про об'єкти БТД;
- г) базу даних загальносистемних інформаційних ресурсів БТД, зокрема: каталог об'єктів вхідних наборів ЦКД; каталог загальних вихідних метаданих про вхідні поаркушні набори ЦКД, що визначені в РТВ на створення ЦКД; каталог об'єктів БТД; таблиці відповідності каталогів об'єктів ЦКД та об'єктів БТД; реєстр географічних назв об'єктів БТД; реєстр простору імен унікальних ідентифікаторів топографічних об'єктів (TOID) в базі топографічних даних.

TSL-підсистема забезпечує виконання таких функцій:

- 1) завантаження валідних наборів вихідних ЦКД у шлюзову базу даних ЦКД;
- 2) завантаження загальних метаданих про вхідні поаркушні набори ЦКД у відповідний каталог вихідних метаданих;
- 3) перетворення вихідних ЦКД у набори даних, що відповідають каталогу об'єктів БТД;
- 4) зшивання геометричних елементів векторних моделей об'єктів, що фрагментовані границями аркушів топографічних карт;
- 5) завантаження перетворених та зшитих моделей об'єктів в оперативну базу топографічних даних;
- б) вибірку та введення в реєстру географічних назв топографічних об'єктів, що завантажуються в БТД;
- 7) присвоєння унікальних ідентифікаторів TOID топографічним об'єктам, що завантажуються в БТД;
- 8) формування первинних метаданих для топографічних об'єктів, що завантажуються в БТД.

За результатами зшивання (п. 4 в наведеному вище переліку) в шлюзовій базі перетворених ЦКД містяться усі вибрані для зшивання об'єкти, усі зшиті об'єкти та усі завантажені об'єкти. Ці помітки використовуються для візуального

контролю в інструментальній ГІС результатів автоматичного зшивання фрагментованих геометричних елементів об'єктів та, за необхідності, їх редагування в інтерактивному режимі. Первинні метадані топографічних об'єктів, що завантажуються в БТД, формуються на основі загальних метаданих про вхідні поаркушні набори ЦКД.

Підсистема адміністрування та ведення бази топографічних даних і метаданих (DBMS – підсистема) забезпечує автоматизацію усіх процесів, пов'язаних з адмініструванням та веденням оперативної бази топографічних даних і метаданих про топографічні об'єкти на етапах створення і експлуатації БТД. Функції DBMS-підсистеми реалізуються з використанням стандартних засобів середовища ОР СКБД, що забезпечують: встановлення, налаштування та оновлення серверного програмного забезпечення баз даних та супутніх продуктів; керування регламентованим доступом користувачів до БТД; налаштування бази даних та моніторинг продуктивності; налаштування програм та моніторинг продуктивності; модифікацію моделей даних БТД; створення та модифікацію вбудованих прикладних функцій БТД; резервне копіювання та відновлення БТД.

Спеціальні прикладні функції підсистеми DBMS забезпечують: побудову топологічних мережних моделей для топографічних об'єктів, які за своїм походженням та функціями належать до природних або інфраструктурних мереж (гідрографічна мережа, дороги та дорожні споруди, тощо); підтримання цілісності геопросторових даних БТД з урахуванням заданих правил як для доменних та посилальних обмежень, так і для правил топологічної узгодженості геометричних елементів векторних моделей топографічних об'єктів; редагування даних в середовищі інструментальної ГІС, що безпосередньо підключається до БТД; підтримання версійності даних БТД в процесі редагування як атрибутів, так і геометричних елементів векторних моделей топографічних об'єктів; ведення бази метаданих про об'єкти бази топографічних даних за результатами редагування атрибутів та геометричних елементів векторних моделей топографічних об'єктів БТД; контроль внутрішньої якості даних БТД.

Підсистема ведення загальносистемних інформаційних ресурсів БТД (GIRM-підсистема від англ.: *General Information Resources Maintenance*) призначена для візуалізації, редагування та документування таких загальносистемних інформаційних ресурсів ГІС БТД:

- каталог об'єктів вхідних наборів ЦКД з класифікаторами для доменів значень атрибутів та правилами топологічних обмежень;
- каталог загальних вихідних метаданих про вхідні поаркушні набори ЦКД, що визначені в РТВ на створення ЦКД;
- каталог об'єктів БТД з класифікаторами для доменів значень атрибутів та правилами топологічних обмежень;
- прикладна схема моделі БТД та метаданих;
- таблиці відповідності каталогів об'єктів ЦКД та об'єктів БТД;
- реєстр географічних назв об'єктів БТД;
- реєстр простору імен унікальних ідентифікаторів топографічних об'єктів (TOID) в базі топографічних даних.

Підсистема експорту даних (*Export*) призначена для перетворення та вивантаження топографічних даних і метаданих із оперативної БДТ для їх подальшого використання в системі геоportалу БТД та/або інших зовнішніх геоінформаційних системах.

Геоportал бази топографічних даних створюється з дотриманням загальних стандартів веб-технологій як клієнт-серверна система з трирівневою архітектурою (рис. 3) таких основних компонентів: засоби для підтримки клієнта, веб-сервер із сервером прикладних застосунків та веб-геосервісами, сервер сховища даних із засобами адміністрування геоportалу.

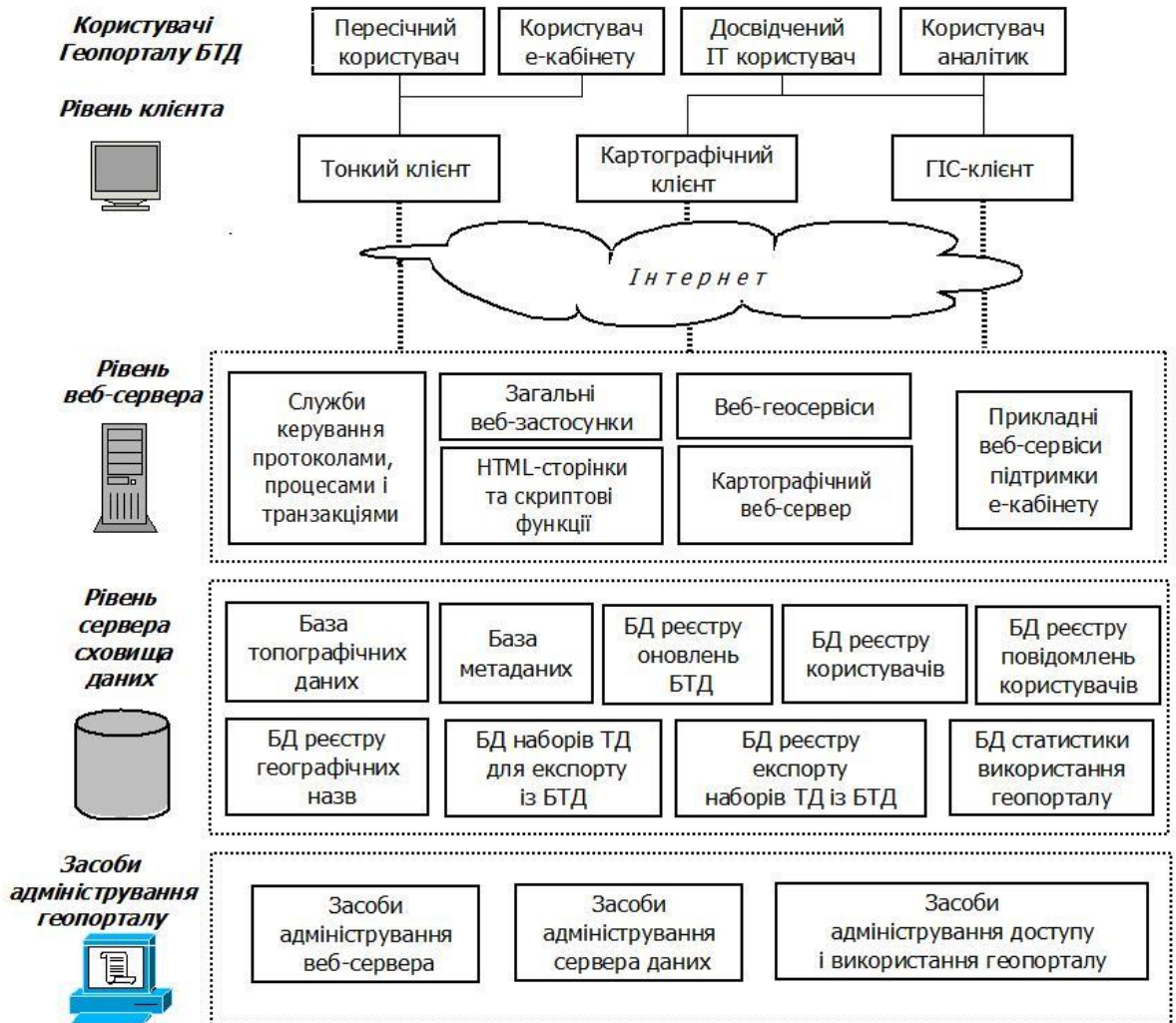


Рис. 3. Трирівнева архітектура геоportалу БТД із засобами адміністрування геоportалу

На рівні «клієнта» в геоportалі реалізуються засоби, що підтримують використання його інформаційних ресурсів такими трьома типами кінцевих користувачів:

1) «тонкий клієнт», що підтримується набором взаємопов'язаних веб-сторінок геоportалу для доступ до його інформаційних ресурсів з використанням звичайних веб-браузерів;

2) картографічний клієнт, в якому веб-браузер доповнюється засобами формування картографічних зображень на основі векторними даними, що отримуються за запитами від геосервісу геопорталу;

3) геоінформаційні системи (наприклад, ArcMap або QGIS) на комп'ютері з доступом до Інтернет, які отримують геопросторові дані за запитами до геосервісів геопорталу і використовують всю функціональну потужність ГІС для їх аналізу і моделювання на клієнтському комп'ютері («товстий клієнт» або ГІС-клієнт).

Взаємодія клієнта з веб-сервером геопорталу, що належить до середнього рівня цієї архітектури, заснована на стандартному протоколі «запит-відповідь» протоколу передачі гіпертексту (HTTP) або протоколу безпечної передачі гіпертексту (HTTPS).

Програмні засоби геопорталу БТД забезпечують:

первинне завантаження та оновлення інформаційних ресурсів сховища даних геопорталу на основі обмінних даних із системи ГІС БТД, зокрема: бази топографічних даних, бази метаданих та бази географічних назв геопорталу, бази даних наборів геопросторових даних підготовлених для експорту;

адміністрування сервера даних та веб-сервера геопорталу;

інтерактивну реєстрацію користувачів геопорталу та адміністрування їх доступу до інформаційних ресурсів геопорталу, в тому числі на рівні уніфікованих прикладних програмних інтерфейсів (API) геосервісів типу WMS, WTMS, WFS, WCS;

візуалізацію галереї базових карт та вибору однієї із них як базової для сеансу роботи користувача з геопорталом;

формування та візуалізацію електронних топографічних карт з масштабними лінійками, легендами на веб-сторінці геопорталу та з підключенням зображень ортофотокарт;

інтерактивну роботу з електронними картами веб-сторінки геопорталу з використанням типових інструментальних засобів керування масштабом зображення, панорамування зображення, керування видимістю шарів тощо;

оперативну візуалізацію атрибутів топографічних об'єктів, що вибираються користувачем на електронній карті;

отримання метаданих про набори топографічних даних та окремі топографічні об'єкти;

випікування необхідного фрагменту карти у різних масштабах для його друку або збереження у файлі на комп'ютері клієнта;

перегляд, отримання та зберігання метаданих на комп'ютері клієнта у вигляді XML та HTML файлів;

отримання та реєстрацію інформації від користувачів щодо якості наборів даних або окремих топографічних об'єктів;

реєстрацію заявок від користувачів на отримання наборів топографічних даних в обмінних форматах з використанням електронної пошти;

ведення реєстру експорту (завантаження) користувачами наборів топографічних даних із геопорталу;

ведення реєстру підписки користувачів на інформацію про оновлення наборів даних геопорталу та їх обслуговування;

ведення статистики роботи геопорталу.

Для реалізацій програмних засобів ГІС БТД та геопорталу переважно використовуються інструментальні засоби з відкритим кодом та з безкоштовними ліцензіями, зокрема:

PostgreSQL (<https://postgesql.org>) – ОР СКБД з розвинуеною підтримкою вбудованих мов програмування для створення вбудованих прикладних процедур та функцій для підтримання нових визначених користувачем типів даних, включаючи типи для геопросторових та мультимедійних даних;

PostGIS (<https://postgis.net>) – бібліотека функцій для підтримання зберігання, маніпулювання і аналізу геопросторових даних в таблицях бази даних ОР СКБД PostgreSQL;

Node.js (<https://node.org/en/>) – платформа з відкритим кодом для реалізації веб-серверів та серверів застосунків, геосервісів та прикладних сервісів з можливістю виконання JavaScript на сервері та відправляти користувачеві результати їх виконання;

Mapnik (<https://mapnik.org>) – засоби реалізації картографічного веб-сервера для генерування зображення електронних карт і картографічних тайлів з використанням різних джерел геопросторових даних у векторних форматах;

Leaflet (<https://leafletjs.com>) – JavaScript-бібліотека з відкритим кодом для реалізації інтерактивних електронних карт на стороні клієнта на основі доступу до веб-геосервісів за стандартами Відкритого геопросторового консорціуму OGC.

Висновки. Бази топографічних даних та геоінформаційні веб-сервіси їх використання в інфраструктурі геопросторових даних стали переважним видом кінцевої продукції національних картографічних і кадастрових агентства розвинених країн.

Створення БТД «Основна державна топографічна карта» в масштабі 1:50 000 є одним із перших кроків в реалізації положень чинного «Порядку загальнодержавного топографічного і тематичного картографування» та забезпечення НІГД України набором базових геопросторових даних загальнодержавного рівня.

Реалізація модельно-керованої архітектури і запропонованої функціональної моделі ГІС БТД відповідає міжнародним стандартам з географічної інформації та охоплює усі технологічні процеси створення безшовної бази топографічних даних на усю територію країни і широкий доступ до неї усіх користувачів в мережі геопорталів НІГД.

Організація постійного топографічного моніторингу місцевості та оперативне оновлення БТД за його результатами дозволить вивести вітчизняне топографічне картографування на новий технологічний рівень та задовольнити потреби усіх галузей економіки в актуальних топографічних даних загальнодержавного рівня.

Вітчизняний і закордонний досвід підтверджує доцільність та ефективність використання для реалізації баз геопросторових даних та геопорталів програмних платформ з відкритими вихідними кодами, завдяки не тільки безкоштовності їх

ліцензій, а й можливості довільного нарощування їх функціональності геопорталів за рахунок розроблення й простого підключення нових прикладних сервісів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Проект* Закону України Про національну інфраструктуру геопросторових даних: 1 лист. 2019 року. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_2?pf3516=2370&skl=10
2. Заєць І. М. Укргеодезкартографія на шляху від інфраструктури картографічного виробництва до інфраструктури геопросторових даних / І.М. Заєць, Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко // Вісник геодезії та картографії. – 2011. – №5. – С. 4 – 11.
3. *Карпінський* Ю. О. Еталонна модель бази топографічних даних / Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко, Р.М. Рунець // Вісник геодезії та картографії. – 2010. – №2. – С. 28 – 36.
4. *Карпінський* Ю. О. Застосування топографічних планів в умовах розвитку національної інфраструктури геопросторових даних / Ю.О. Карпінський, Н.Ю. Лазоренко-Гевель // Містобудування та територіальне планування. – 2018. – Вип. 68. – С. 712 – 724.
5. *Kent* A.J. Topographic Mapping: Past, Present and Future / A.J. Kent, A. Hopfstock // The Cartographic Journal. – 2018. Vol. 55:4, – Pages 305-308. DOI: 10.1080/00087041.2018.1576973.
6. *Kainz* W.A. Classification of digital map data model. / W.A. Kainz // Proceedings EURO-CARTO, IV, Brno, Czechoslovakia, 1987, April 13 – 16. – P. 105 – 113.
7. *Jakobsson* A. On the Future of Topographic Base Information Management in Finland and Europe. Doctoral dissertation. Helsinki University of Technology/ – 2006. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://lib.tkk.fi/Diss/2006/isbn9512282062>.
8. *Jakobsson* A. Reinventing the National Topographic Database / A. Jakobsson, R. Pives // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci. XLI-B4 – 2016. – P. 733–736. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLI-B4-733-2016.
9. *Olszewski* R. Methodology of creating the new generation of official topographic maps in Poland / R. Olszewski, J. Zieliński, A. Pillich-Kolipińska, A. Fiedukowicz, A. Głazewski, P. Kowalski. // Proceedings of the 26th ICC2013, Dresden, Germany. – 2013. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://icaci.org/files/documents/ICC2013/_extendedAbstract/248_proceeding.pdf.
10. *García* F. J. New production environment for the National Topographic Database 1:25.000 (IGN-E). Intelligence for geographic databases / F. . García, A. de las Cuevas, A. Marín, V. Martín, F. Sánchez, F. J. González-Matesanz. // Proceedings of the 26th ICC2013, Dresden, Germany [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://icaci.org/files/documents/ICC2013/_extendedAbstract/415_proceeding.pdf.

REFERENCES

1. Proekt Zakonu Ukrainy Pro natsionalnu infrastrukturu heoprosorovykh danykh: pryiniaty 1 list. 2019 roku Retrieved from http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_2?pf3516=2370&skl=10 [in Ukrainian].
2. Zaiets, I. M., Karpinsky, Yu. O., & Lyashchenko, A.A. (2011). Ukrheodezkartohrafiia na shliakhu vid infrastruktury kartohrafichnoho vyrobnytstva do infrastruktury heoprosorovykh danykh [Ukrgeodescartography on the way from the infrastructure of cartographic production to the infrastructure of geospatial data]. *Visnyk heodezii ta kartohrafii – Journal of Geodesy and Cartography*, 5, 4 – 11 [in Ukrainian].
3. Karpinsky, Yu. O., Lyashchenko, A.A., & Runets, R. M. (2010). Etalonna model bazy topohrafichnykh danykh [Reference model of topographic database]. *Visnyk heodezii ta kartohrafii – Journal of Geodesy and Cartography*, 2, 28 – 36 [in Ukrainian].
4. Karpinsky, Yu. O., & Lazorenko-Hevel, N. Yu. (2018). – Zastosuvannia topohrafichnykh planiv v umovakh rozvytku natsionalnoi infrastruktury heoprosorovykh danykh [Application of topographic plans in the conditions of the development of national spatial data infrastructure]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban planning and spatial planning*, 68, 712 – 724 [in Ukrainian].
5. Kent, A.J. & Hopfstock, A. (2018). Topographic Mapping: Past, Present and Future. *The Cartographic Journal*, 55:4, 305-308, DOI: 10.1080/00087041.2018.1576973.
6. Kainz, W.A. (1987). Classification of digital map data model. In *Proceedings EURO-CARTO, IV, Brno, Czechoslovakia, 1987, April 13 – 16* (pp. 105 – 113).
7. Jakobsson, A. (2006). On the Future of Topographic Base Information Management in Finland and Europe. *Doctoral dissertation. Helsinki University of Technology*. Retrieved from <http://lib.tkk.fi/Diss/2006/isbn9512282062/>, 180 p +annexes.
8. Jakobsson A. & R. Ilves (2016). Reinventing the National Topographic Database, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. *Spatial Inf. Sci. XLI-B4*, 733–736. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLI-B4-733-2016.
9. Olszewski R., Zieliński J., Pillich-Kolipińska, A., Fiedukowicz A., Głazewski A., & Kowalski P. (2013). Methodology of creating the new generation of official topographic maps in Poland. In *Proceedings of the 26th ICC2013, Dresden, Germany*, 680. Retrieved from https://icaci.org/files/documents/ICC2013/_extendedAbstract/248_proceeding.pdf.
10. García, F. J., de las Cuevas, A., Marín, A., Martín, V., Sánchez, F. & González-Matesanz, F. J. (2013). New production environment for the National Topographic Database 1:25.000 (IGN-E). Intelligence for geographic databases. In *Proceedings of the 26th ICC2013, Dresden, Germany*, 699. Retrieved from https://icaci.org/files/documents/ICC2013/_extendedAbstract/415_proceeding.pdf.

Ю.А. Карпинский, А.А. Лященко, Н.Ю. Лазоренко-Гевель, А.Г. Черин
АРХИТЕКТУРА И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ БАЗЫ
ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

В статье обосновано модельно-управляемую архитектуру и функциональную модель геоинформационной системы базы топографических данных «Основная государственная топографическая карта», первичное наполнение которой осуществляется на основе обновленных цифровых топографических карт масштаба 1:50 000. Предлагаемые решения соответствуют международным стандартам в сфере географической информации, а их реализация обеспечивает комплексное применение новейших геоинформационных технологий и баз геопространственных данных для создания бесшовной базы топографических данных на всю территорию Украины с широким доступ к ней заинтересованных пользователей на геопортале системы. К основным особенностям и новациям создаваемой базы топографических данных относятся: полнота классов топографических объектов и их атрибутов; комплексная система идентификации топографических объектов в базе данных, при которой каждому топографическому объекту присваивается уникальный топографический идентификатор, а также код согласно отраслевому классификатору, если таковой существует; целостность геометрических моделей топографических объектов, при которой объекты не фрагментируются границами листов топографических карт, на которых они отражаются; топологическая согласованность геометрических моделей топографических объектов на уровне топологии планарного графа для всех смежных и пересекающихся объектов; поддержка метаданных как для классов топографических объектов, так и для конкретных их экземпляров и их атрибутов; использование объектно-реляционной системы управления базами данных для реализации интегрированного хранилища всех информационных ресурсов системы; гармонизация моделей геопространственных данных и метаданных, форматов обмена данными, методов и процедур оценки качества данных с требованиями соответствующих международным стандартам серии ISO 19100; оперативное обновление данных в системе по результатам постоянного топографического мониторинга местности; обеспечение широкого и открытого доступа к топографическим данным через геопортал системы.

Ключевые слова: *топографическое картографирование, база топографических данных, национальная инфраструктура геопространственных данных, геопортал, геоинформационная система, геопространственные данные.*

Yu. Karpinsky, A. Lyashchenko, N. Lazorenko-Hevel, A. Cherin
ARCHITECTURE AND FUNCTIONAL MODEL OF THE TOPOGRAPHICAL
DATABASE

The article substantiates the model-driven architecture and functional model of the geoinformation system of the topographic database "Main state topographic map", the primary content of which is carried out on the basis of updated digital topographic

maps at a scale of 1: 50,000. The proposed solutions comply with international standards in the field of geographic information, and their implementation provides a comprehensive application of the latest geoinformation technologies and geospatial databases to create a seamless topographic database for the entire territory of Ukraine with wide access to it by interested users on the system geoportal. The main features and innovations of the topographic database being created include: completeness of classes of topographic objects and their attributes; an integrated system for identifying topographic objects in a database, in which each topographic object is assigned a unique topographic identifier, as well as a code according to the industry classifier, if any; integrity of geometric models of topographic objects, in which objects are not fragmented by the boundaries of the sheets of topographic maps on which they are reflected; topological consistency of geometric models of topographic objects at the level of planar graph topology for all adjacent and intersecting objects; support for metadata both for classes of topographic objects, and for their specific instances and their attributes; use of an object-relational database management system for the implementation of an integrated storage of all information resources of the system; harmonization of geospatial data and metadata models, data exchange formats, methods and procedures for assessing data quality with the requirements of the international standards of the ISO 19100 series; prompt updating of data in the system based on the results of continuous topographic monitoring of the area; providing wide and open access to topographic data through the system's geoportal.

Keywords: *topographical mapping, topographical database, national spatial data infrastructure, geoportal, geographic information system, geospatial data.*

Надійшла до редакції

20.07.2019

УДК 528.9

<https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.67.81-94>

П. П. Король, канд. геогр. наук, доцент,
В.У. Волошин, канд. техн. наук, доцент,
О.В. Мельник, канд. техн. наук, доцент,
Ю.С. Бліндер, канд. техн. наук, доцент,

Східноєвропейський національний університет ім. Лесі Українки

МОДИФІКОВАНІ ЦИЛІНДРИЧНІ ПРОЕКЦІЇ У СУЧАСНИХ СТАНДАРТАХ ПРИСТРОЇВ ВІДОБРАЖЕННЯ

Мета роботи полягає у обґрунтуванні необхідності розроблення дисплей-орієнтованих математичних основ з ортогональною картографічною сіткою та вишукуванні адаптованих до розмірів екранного фрейму параметрів нормальних рівнокутних, рівновеликих і рівнопроміжних циліндричних проекцій географічних карт світу. Методика. Візуалізація геозображень на пристроях відображення ГІС вимагає проектування оптимальних параметрів елементів математичної основи карт, що передбачає вибір або вишукування картографічної проекції,

підбір масштабного ряду зображень, налаштування картографічної сітки тощо за умови максимально ефективного використання екранного простору. З метою ефективного заповнення прямокутного фрейму пристрою відображення доцільно використовувати картографічні проекції з ортогональною сіткою меридіанів і паралелей, до яких належать нормальні циліндричні проекції. Забезпечення співвідносності розмірів картографічного зображення та пристрою відображення досягається застосуванням модифікованих варіантів циліндричних проекцій зі змінною широтою паралелі дотику або паралелей січення. До переваг такого виду проекцій, крім цього, відносять можливість оперативного розрахунку параметрів картографічної сітки, високу точність при передачі форм і площ, тривіальність обчислення параметрів спотворень, і обернених залежностей, співвідносність систем екранних і геодезичних або прямокутних координат. Модифіковані циліндричні проекції є параметризованими функцією широти, що дозволяє варіювати параметрами спотворень залежно від положення і розмірів картографованої території. Результати. Експериментально доведено, що з метою найбільш ефективного використання площі дисплею доцільно використовувати ортогональні картографічні сітки прямолінійних меридіанів і паралелей. Обґрунтовано можливість та доцільність використання модифікованих циліндричних проекцій як математичних основ географічних карт світу, що призначені для відтворення на пристроях відображення. Запропоновано методика обчислення оптимальних параметрів нормальних рівнокутної, рівновеликої і рівнопроміжної циліндричних проекцій. Встановлено можливість отримання вихідних параметрів та розрахунку проекцій при довільних співвідношеннях параметрів фрейму пристрою відображення шляхом підстановки їх значень у кінцеві рівняння відповідних картографічних проекцій. Наукова новизна та практична значущість. Наукові дослідження щодо вдосконалення математичних основ географічних карт з метою їх адаптації до сучасних стандартів пристроїв відображення в Україні не виконувались. Отримані результати можуть бути використані розробниками програмного забезпечення при створенні картографічних web-сервісів, а також картографами – при розробці кондиційних математичних основ географічних карт різного територіального охоплення. Використання модифікованих варіантів рівнокутних, рівновеликих і рівнопроміжних циліндричних проекцій дозволить значно підвищити якість оформлення картографічного контенту web-сторінок, забезпечить повноцінне використання екранного простору, високу детальність картографічного зображення та максимальну точність відображення.

Ключові слова: модифіковані циліндричні проекції, ортогональні картографічні сітки, стандарти пристроїв відображення, ГІС-в'юери, web-сервіси.

Вступ. Подання інформації в зрозумілій і зручній для користувача формі є однією з основних функцій будь-якої системи обробки даних. Оскільки геоінформаційні системи (ГІС) зорієнтовані переважно на обробку просторово-

розподілених даних, то вони подають оброблену інформацію у вигляді різноманітних картографічних, тривимірних і анімізованих зображень [1].

Побудова картографічного зображення є досить складним науково-методичним і технологічним процесом. Для створення карт та інших геозображень у різних прикладних науках (картографії, геології, землевпорядкуванні, гідрографії тощо) розроблені різноманітні стандарти і нормативні вимоги. Водночас технології ГІС надають користувачу значно більших можливостей для створення й обробки картографічної інформації, які в багатьох випадках не передбачені або не затребувані традиційними методами паперових технологій.

На екран дисплея можна вивести декілька вікон з різними тематичними картами для їх спільного візуального аналізу; електронні карти легко масштабуються з можливістю автоматизованої генералізації; спеціальні засоби редагування дозволяють швидко змінювати підписи, умовні позначення і загальне компонування картографічного зображення. За наявності картографічної бази даних користувач одержує можливість здійснювати оперативні інтерактивні запити щодо властивостей певного об'єкта, формувати запити з використанням математичних і логічних функцій, здійснювати вибірки, будувати тематичні карти й картодіаграми тощо.

Для обслуговування широкого кола нових споживачів геопросторових даних з'явився клас програмних продуктів ГІС, що призначені для надання кінцевому користувачу інформації з мінімальним набором функцій введення і редагування даних – ГІС-в'юери. Окрім цього існує чимало програмних продуктів ГІС, що призначені для обробки і подання інформації в стандартах конкретної прикладної галузі діяльності з відповідними шаблонами і наборами умовних знаків. У таких програмних продуктах значна увага надається можливостям одержання твердих копій картографічних зображень з урахуванням нормативних вимог до їх точності і зовнішнього вигляду [2].

Основні принципи виведення інформації на екран дисплея або інших пристроїв відображення, дизайн зображень і зручність їх сприйняття людиною характеризуються загалом поняттям візуалізація. Візуалізація у ГІС, комп'ютерній графіці і картографії передбачає проектування і генерацію зображень, у тому числі геозображень, картографічних зображень та іншої графіки на пристроях відображення (зокрема дисплеях) на основі вихідних цифрових даних, правил і алгоритмів їх перетворення [1].

Візуалізація геозображень на пристроях відображення ГІС вимагає проектування оптимальних параметрів елементів математичної основи карт, що передбачає вибір або вишукування картографічної проекції, підбір масштабного ряду зображень, налаштування картографічної сітки тощо за умови максимально ефективного використання екранного простору [3].

Аналіз досліджень і публікацій. Проблема забезпечення відповідності форм і розмірів картографічного зображення та пристрою відображення не є новою у ГІС. Очевидно, що для ефективного заповнення прямокутного фрейму пристрою відображення доцільно використовувати картографічні проекції з ортогональною сіткою меридіанів і паралелей, до яких належать нормальні

циліндричні проєкції. З метою забезпечення співвідношення розмірів картографічного зображення та пристрою відображення доцільно використовувати модифіковані варіанти циліндричних проєкцій зі змінною широтою паралелі дотику або паралелей січення. До переваг такого виду проєкцій, крім цього, слід віднести можливість оперативного розрахунку параметрів картографічної сітки, високу точність при передачі форм і площ, тривіальність обчислення параметрів спотворень, і обернених залежностей, співвідносність систем екранних і геодезичних або прямокутних координат. Модифіковані циліндричні проєкції є параметризованими функцією широти, що дозволяє варіювати параметрами спотворень залежно від положення і розмірів картографованої території.

Питаннями розробки математичних основ для відображення картографованої території у межах прямокутної області із максимальним заповненням фрейму присвячені роботи американського картографа Вальдо Рудольфа Тоблера. Зокрема, у 1974 році для ефективного представлення території американського штату Мічиган на екрані комп'ютера була використана одна з модифікацій перигональної рівновеликої конічної проєкції Тіссо [4]. Іншим прикладом таких досліджень для карт світу є рівновелика циліндрична картографічна проєкція в квадраті (Tobler World in a Square Projection), що була запропонована у 1986 році і є загальним випадком циліндричної квадратної проєкції Ератосфена Кіренського (Plate Carrée) та псевдоциліндричної рівновеликої проєкції Коліньйона (Collignon Projection) [5].

Однією із головних не вирішених проблем у сфері геоінформаційного забезпечення картографічного відображення залишається проблема вишукування оптимальних параметрів математичних основ географічних карт різного призначення та територіального охоплення. Частково проблема вирішується шляхом підбору параметрів картографічних сіток співвідносних до розмірів екранного фрейму. Однак, у випадку мультимасштабного відображення значно доцільнішим видається вишукування модифікованих картографічних проєкцій із заданими властивостями, параметри картографічних сіток яких адаптовані до розмірів екранного фрейму [6].

Питанням розроблення модифікованих картографічних проєкцій у відповідності до вимог сучасних стандартів відображення присвячена дана стаття.

Постановка завдання. Метою даної роботи є обґрунтування необхідності розроблення дисплей-орієнтованих математичних основ з ортогональною картографічною сіткою та вишукування адаптованих до розмірів екранного фрейму параметрів нормальних рівнокутних, рівновеликих і рівнопроміжних циліндричних проєкцій географічних карт світу.

Основна частина. Карти сьогодні отримали значне поширення в мережі Internet. Людство активно використовує картографічні сервіси на пошукових порталах, оскільки це простий і зручний спосіб отримання геопросторової інформації. Переваги картографічних web-сервісів є очевидними: відсутність необхідності використання спеціалізованого клієнтського програмного забезпечення, доступний і зручний інтерфейс, висока швидкість завантаження

кешу, можливість роботи з будь-якого комп'ютера, що має доступ в мережі Internet.

Вимоги до будь-якої карти, що призначена для перегляду на екрані дисплею, істотно відрізняються від правил підготовки традиційних паперових карт до друку [7]. Спрацьовують як фізичні обмеження засобів відображення (роздільна здатність, яскравість, контрастність пристрою відображення), так і обмеження за часом візуалізації. Важливою відмінністю є забезпечення мультимасштабності зображення, що сприяє зручності навігації. У випадку, якщо карта публікується у вигляді web-сервісу, виникає низка додаткових умов, що пов'язані з передачею даних по мережі, візуалізацією даних на сервері тощо. Підготовча робота передбачає визначення типу сервісу, проекції карти, масштабною ряду і генералізацію даних.

Картографічні web-сервіси поділяються на дві великі групи: динамічні і кешовані. У першому випадку при масштабуванні або переміщенні зображення виконується запит даних і здійснюється перерисовування зображення з урахуванням нового охоплення. При цьому клієнт отримує лише готове растрове зображення, оскільки їх рендеринг забезпечується сервером. У випадку кешованого сервісу мозаїка растрових зображень або тайлів для кожного масштабу підготовлена заздалегідь, тому процедура виконується значно оперативніше. При цьому складність оформлення і даних жодним чином не позначається на швидкості відображення, однак модифікація даних викликає необхідність перерахунку кешу, відсутня можливість редагування об'єктів та управління відображенням шарів, а список масштабів є фіксованим.

Картографічні ГІС дозволяють проектувати дані при візуалізації, тому картографічна проекція карти не завжди співпадає з проекцією, в якій зберігаються координати об'єктів бази даних. Однак такий підхід є неприйнятним, оскільки досить часто доводиться виконувати суміщення тематичних шарів карти на спільній математичній основі. При виборі картографічної проекції керуються різноманітними критеріями – від естетичності контурів і характеру спотворень до зручності і точності вимірювань за картою. В межах шару всі класи повинні мати єдину просторову прив'язку, оскільки такий підхід забезпечує графічний оверлей зображень окремих тематичних шарів географічної карти.

Вибір масштабною ряду є не менш важливим аспектом, ніж вибір проекції. Кешований картографічний web-сервіс має наперед визначену схему тайлів. Окрім параметрів растру (формат, стиснення тощо) він включає каталог масштабів. Каталог масштабів завжди є обмеженим, залежить від територіального охоплення карти, детальності даних та інших чинників і, як правило, складається не більше, ніж з 10-15 рівнів. Необхідно наперед визначити масштаби, які будуть використані в подальшому при відображенні за умови, що один з них повинен забезпечувати співвідносність розмірів картографічного зображення та пристрою відображення. Незважаючи на те, що динамічний сервіс не прив'язаний до певних масштабів, завдання їх вибору від цього не стає менш актуальним [8].

При встановленні розмірів дисплея визначальним параметром вважається довжина його діагоналі виражена в дюймах, хоча такий підхід не є таким очевидним і видається вельми суперечливим. Оптимальним параметром, на нашу

думку, є корисна площа дисплея, що є похідною від його лінійних розмірів та їх співвідношення або формату дисплея.

До 2006 року дисплеї мали співвідношення сторін 4:3 [9], що забезпечує максимальну корисну площу для контенту, завдяки чому на ньому зручно працювати з документами та іншими текстовими матеріалами. Однак, фізіологічні особливості людського зору, співвідношення параметрів поля якого наближається до 2:1, зумовили необхідність наближення форми дисплея до форми поля зору. З цією метою комп'ютерна індустрія почала використовувати новий формат 16:9 (1.777), який кращим чином відповідає вимогам естетичного сприйняття зображення і є близьким до співвідношення "золотого перетину" (1.618). З 2009 року він став найпоширенішим форматом телевізійних екранів і комп'ютерних моніторів (хоча стандарт широкоформатного телебачення 16:10 (1.6) у цьому плані є значно кращим)[10]. Останнім часом усе частіше використовуються формати 17:9, 18:9 і 21:9, які дозволяють дещо збільшити діагональ дисплея, однак це не призводить до суттєвого збільшення його корисної площі[11]. За інших рівних умов (роздільна здатність і висота дисплея) вони є значно кращими у порівнянні із "сучасною класикою" 16:9 майже у всьому, що стосується зручності роботи з контентом. Із дисплеїв зі співвідношенням сторін 21:9 (особливо з увігнутими панелями) отримують якісні мультидисплейні конфігурації [12], а встановлені вертикально три ультраширокоформатники забезпечують значну корисну площу із співвідношенням сторін 9:7. Для дисплеїв таких розмірів технологічно складно забезпечити рівномірність підсвічування, тобто однорідність розподілу яскравості зображення, хоча для перегляду кінофільмів такий недолік є несуттєвим.

Результати дослідження. З метою найбільш ефективного використання площі дисплею доцільно використовувати ортогональні картографічні сітки прямолінійних меридіанів і паралелей. Очевидно, що найоптимальнішим варіантом вибору є нормальні циліндричні проекції. Розглянемо три випадки нормальних циліндричних проекцій: рівнокутний, рівновеликий і рівнопроміжний.

Нормальна рівнокутна циліндрична проекція з двома обмежувальними паралелями. Виходячи із загальної системи рівнянь нормальної рівнокутної циліндричної проекції [13]:

$$\begin{cases} x = R(\lambda - \lambda_0) \\ y = R \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right), \end{cases} \quad (1)$$

за умови $\lambda_0 = 0^\circ$, $\lambda_{\max} = 180^\circ \Rightarrow (\lambda_{\max} - \lambda_0) = 180^\circ = \pi$ знаходимо φ .

При підстановці співвідношення довжин сторін дисплею (у даному випадку 16:9) у систему рівнянь (1) отримують:

$$\frac{R(\lambda_{\max} - \lambda_0)}{16} = \frac{R \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_{\max}}{2} \right)}{9};$$

$$16R \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_{\max}}{2} \right) = 9R(\lambda_{\max} - \lambda_0);$$

$$\ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_{\max}}{2} \right) = \frac{9\pi}{16};$$

$$\frac{\varphi_{\max}}{2} = 35^{\circ}18'22.''7056 \Rightarrow \varphi_{\max} = 70^{\circ}36'45.''4112.$$

Таким чином, широти обмежувальних паралелей становлять $\varphi = 70^{\circ}36'45.''4112$ пн. і пд. ш.

Графічна інтерпретація нормальної рівнокутної циліндричної проекції з двома обмежувальними паралелями подана на рис 1.

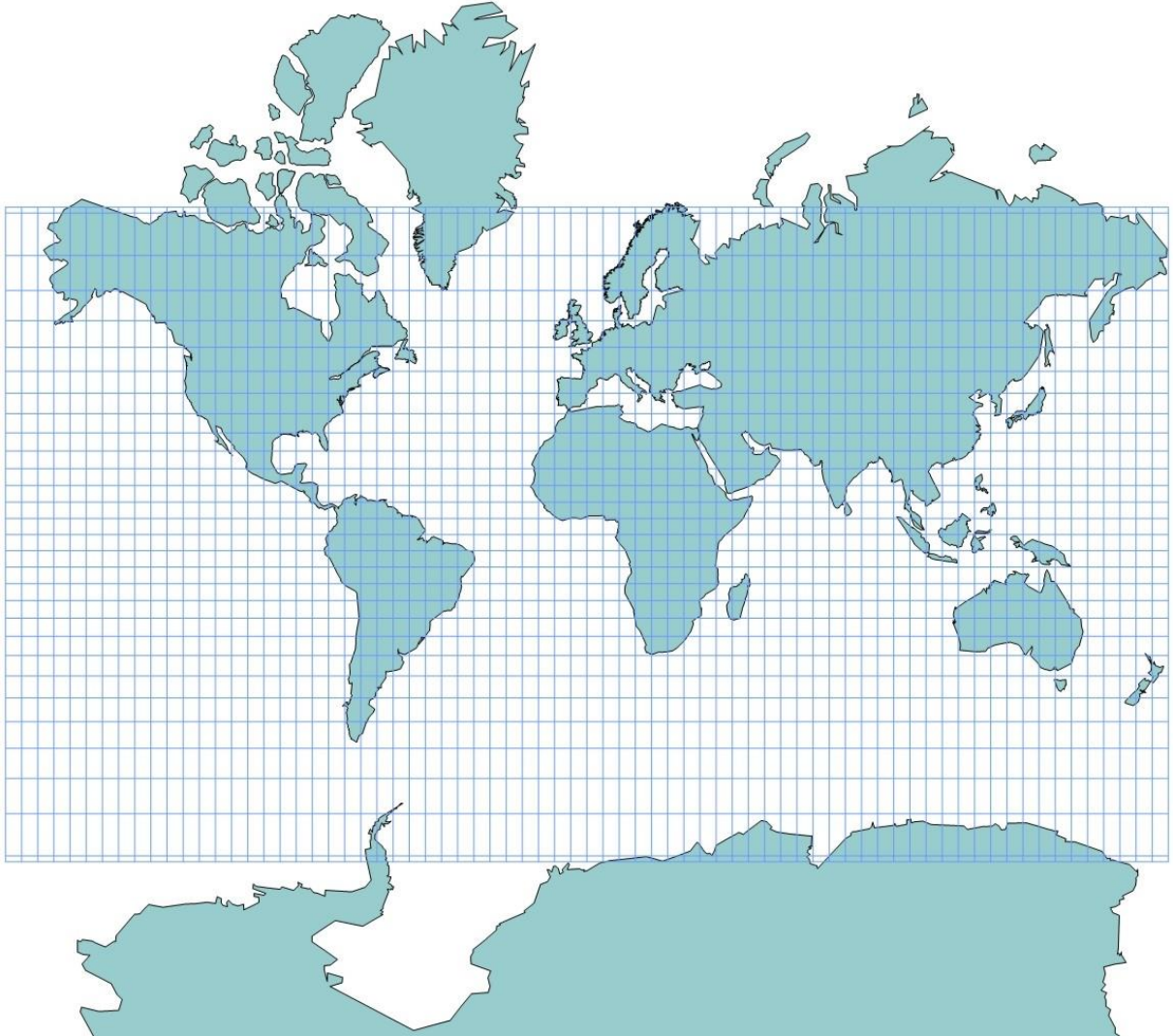


Рис. 1. Нормальна рівнокутна циліндрична проекція ($\varphi = 70^{\circ}36'45.''4112$ пн. і пд. ш.).

Нормальна рівновелика циліндрична проекція з двома стандартними паралелями. Виходячи із загальної системи рівнянь нормальної рівновеликої циліндричної проекції [14,15]:

$$\begin{cases} x = R(\lambda - \lambda_0) \cos \varphi_0 \\ y = R \sin \varphi \sec \varphi_0 \end{cases}, \quad (2)$$

дотримуються умов :

$$\lambda_0 = 0^{\circ}, \lambda_{\max} = 180^{\circ};$$

$$(\lambda_{\max} - \lambda_0) = 180^\circ = \pi \text{ і } \varphi_{\max} = 90^\circ = \frac{\pi}{2}.$$

При підстановці співвідношення довжин сторін дисплею (у даному випадку 16:9) у систему рівнянь (2) отримують:

$$\frac{\pi R \cos \varphi_0}{16} = \frac{R \sin \frac{\pi}{2}}{9 \cos \varphi_0};$$

$$9\pi R \cos^2 \varphi_0 = 16R \sin \frac{\pi}{2} \Rightarrow \cos^2 \varphi_0 = \frac{16 \sin \frac{\pi}{2}}{9\pi};$$

$$\cos^2 \varphi = 0.565884242 \Rightarrow \cos \varphi_0 = 0.752252778;$$

$$\varphi_0 = 41^\circ 12' 50."7632.$$

Таким чином, широти стандартних паралелей становлять $\varphi_0 = 41^\circ 12' 50."7632$ пн. і пд. ш.

Графічна інтерпретація нормальної рівновеликої циліндричної проекції з двома стандартними паралелями подана на рис 2.

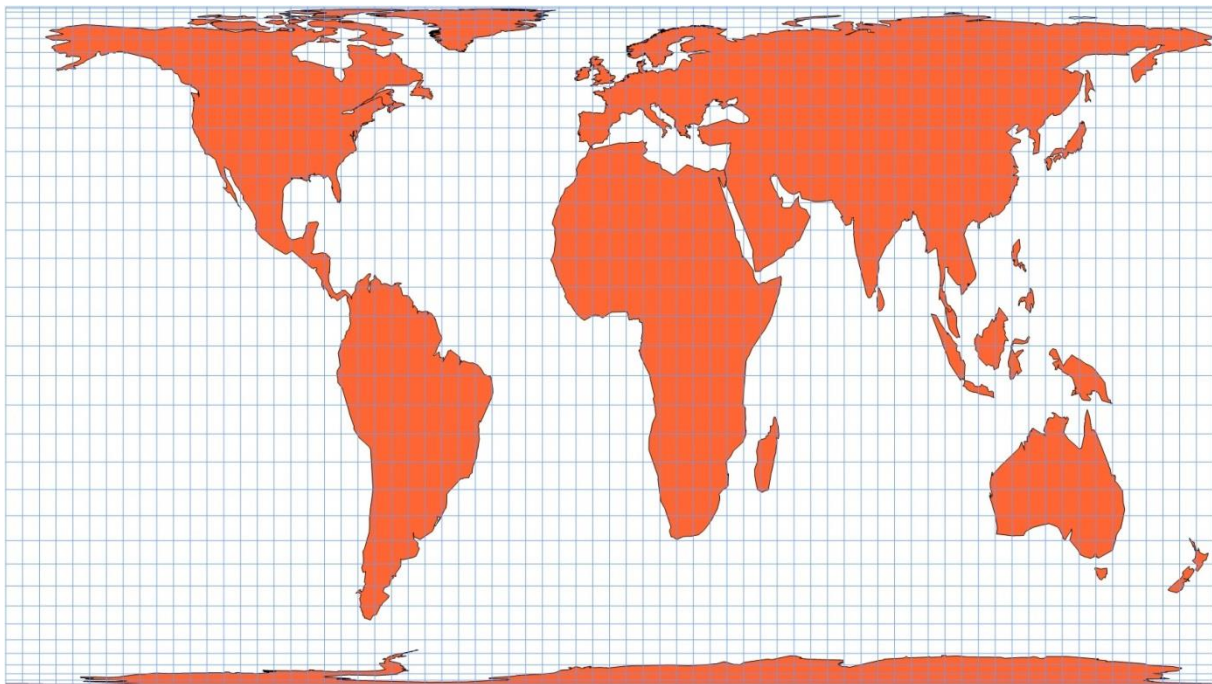


Рис. 2. Нормальна рівновелика циліндрична проекція ($\varphi_0 = 41^\circ 12' 50."7632$ пн. і пд. ш.).

Нормальна рівнопроміжна циліндрична проекція з двома стандартними паралелями. Виходячи із загальної системи рівнянь нормальної рівнопроміжної циліндричної проекції [Miller, 1949]:

$$\begin{cases} x = R(\lambda - \lambda_0) \cos \varphi_0 \\ y = R\varphi \end{cases}, \quad (3)$$

дотримуються умов $\lambda_0 = 0^\circ$, $\lambda_{\max} = 180^\circ$. Звідки

$$(\lambda_{\max} - \lambda_0) = 180^\circ = \pi \text{ і } \varphi_{\max} = 90^\circ = \frac{\pi}{2}.$$

При підстановці співвідношення довжин сторін дисплею (у даному випадку 16:9) у систему рівнянь (3) отримують:

$$\frac{\pi R \cos \varphi_0}{16} = \frac{\frac{\pi}{2} R}{9}; 16 \frac{\pi}{2} R = 9 \pi R \cos \varphi_0;$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{16 \frac{\pi}{2} R}{9 \pi R} = 0.8888888...$$

$$\varphi_0 = 27^{\circ}15'57.''76$$

Таким чином, широти стандартних паралелей січення становлять $\varphi_0 = 27^{\circ}15'57.''76$ пн. і пд. ш.

Графічна інтерпретація нормальної рівнопроміжної циліндричної проекції з двома стандартними паралелями подана на рис 3.

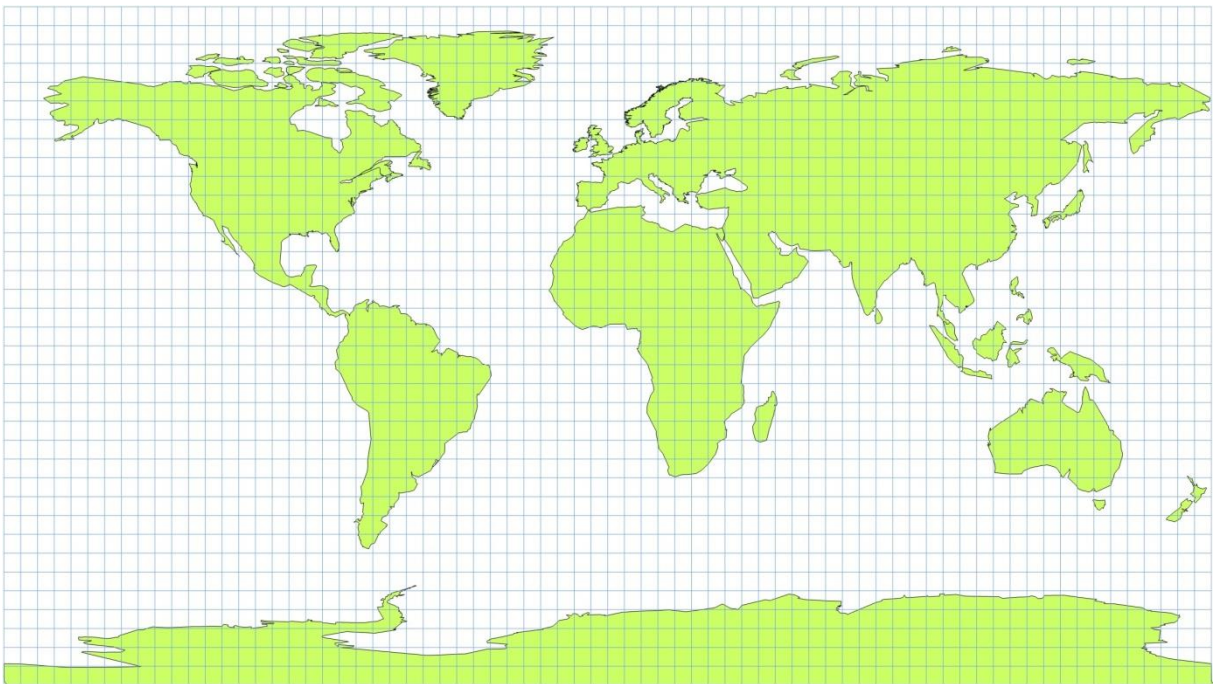


Рис. 3. Нормальна рівнопроміжна циліндрична проекція ($\varphi_0 = 27^{\circ}15'57.''76$ пн. і пд.ш.).

Очевидно, що існує можливість отримання вихідних параметрів та розрахунку проекцій при інших співвідношеннях довжин сторін пристрою відображення шляхом підстановки їх значень у кінцеві рівняння відповідних картографічних проекцій.

Наукова новизна і практична значущість. Наукові дослідження щодо вдосконалення математичних основ географічних карт з метою їх адаптації до сучасних стандартів пристроїв відображення в Україні не виконувались.

Отримані результати мають не лише наукову, а й практичну значущість, вони можуть бути використані розробниками програмного забезпечення при створенні картографічних web-сервісів, а також картографами – при розробці кондиційних математичних основ географічних карт різного територіального охоплення.

Використання модифікованих варіантів рівнокутних, рівновеликих і 90івно проміжних циліндричних проєкцій дозволить значно підвищити якість оформлення картографічного контенту web-сторінок, забезпечить повноцінне використання екранного простору, високу детальність картографічного зображення та максимальну точність відображення.

Висновки. У роботі проведено вишукування оптимальних параметрів відмінних за характером спотворень циліндричних проєкцій для географічних карт світу та виконано побудову їх картографічних сіток. Експериментально доведено доцільність і ефективність використання модифікованих циліндричних проєкцій як математичних основ географічних карт різного територіального охоплення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Світличний О. О. Основи геоінформатики: навчальний посібник / О. О. Світличний, С. В. Плотницький. – Суми: ВТД "Університетська книга", 2008. – 294 с. ISBN 978-966-680-413-9
2. Brown A. Map design for screen displays / A. Brown // *The Cartographic Journal*. – 1993. – Vol.30. – No.2. – P. 129-135. DOI: 10.1179/000870493787860030
3. Yang Q. Map projection transformation: principles and applications / Qihe Yang, John Parr Snyder and Waldo Rudolph Tobler. – London: Taylor & Francis, 2000. – 367 p. ISBN 0-7484-0664-0
4. Tobler W. R. Local map projection / W. R. Tobler. // *Cartography and Geographic Information Science*. – 1974. – V.1. – No.1. – P. 51–62. DOI: 10.1559/152304074784107827
5. Tobler W. R. A quadtree for global information storage / W. R. Tobler, Zi-tan Chen // *Geographical Analysis*. – 1986. – V.18. – No.4. – P. 360-371. DOI: 10.1111/j.1538-4632.1986.tb00108.x
6. Король П. П. Картографічні проєкції: довідник: У 6-х ч. Ч. 1: Циліндричні проєкції / П. П. Король – Луцьк: ПП Іванюк В. П., 2017. – 145 с. ISBN 978-966-361-842-5
7. Jenny B. Map Design for the Internet / B. Jenny, H. Jenny, S. Räber. // *International Perspectives on Maps and the Internet*. – Berlin: Heidelberg, New York: Springer, 2008. – P. 31-48. https://doi.org/10.1007/978-3-540-72029-4_3
8. Samsonov T. E. Creation interactive map design for Web-services / T. E. Samsonov // *ArcReview*. – 2009. – No.1 (48). – P. 14-15.
9. Ультраширокоекранники: «за» и «против» [Електронний ресурс] // Компания М.Видео. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://habr.com/ru/company/mvideo/blog/385859/>.
10. Harrower M. Cartography on the Internet: thoughts and a preliminary user survey. / M. Harrower, C. P. Keller, D. Hocking. // *Cartographic Perspectives*. – 1997. – No.26. – P. 27-37. DOI:10.14714/CP26.718
11. Wikle T. Computer Software for Displaying Map Projections and Comparing Distortions / T. Wikle // *Journal of Geography*. – 1991. – Vol. 90. – No.6. – P. 264-266. <https://doi.org/10.1080/00221349108979316>

12. Корольов Є. Світ 18:9: чому діагональ екрана скоро стане поганим мірилом ширини смартфона [Електронний ресурс] / Є. Корольов. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://techtoday.in.ua/reviews/svit-18-9-chomu-diagonal-ekranu-skoro-stane-poganim-mirilom-shirini-smartfona-72432.html>.
13. Vinge C. L. Mercator projection: its basis in elementary mathematics / C. L. Vinge // *School Science and Mathematics*. – 1950. – Vol. 50. – No. 439. – P. 394–401. <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1950.tb06620.x>
14. Lambert J. H. Beitrage zum Gebrauche der Mathematik und deren Anwendung. /J. H. Lambert // *Anmerkungen und Zusatze zur Entwertung der Land- und Himmelscharten*. – Berlin, 1772. – Part III. – Sektion 6. <http://doi.org/10.3931/e-rara-8613>
15. Miller R. An equirectangular map projection / R. Miller // *Geography*. – 1949. – Vol. 34. – Pt. 4. – P. 196–201. – [Standard parallels 50°28. N. and S. See also correction, 1951, v. 36, pt. 4, p. 270.] <https://www.jstor.org/stable/40564637>

REFERENCES

1. Svitlychnyi, O. O., Plotnytskyi V. (2008). *Osnovy heoinformatyky: navchalnyi posibnyk [The Basis of Geoinformatics: Tutorial]*. Sumy: VTD "Universytetska knyha"
2. Brown A. (1993). Map design for screen displays / A. Brown // *The Cartographic Journal*. (Vol. 30, No.2), (pp. 129-135). DOI: 10.1179/000870493787860030
3. Yang Q. (2000). *Map projection transformation: principles and applications / Qihe Yang, John Parr Snyder and Waldo Rudolph Tobler*. – London: Taylor & Francis. ISBN 0-7484-0664-0
4. Tobler W. R. (1974). Local map projection / W. R. Tobler. // *Cartography and Geographic Information Science*. (V.1, No.1), (pp. 51–62). DOI: 10.1559/152304074784107827
5. Tobler W. R. & Zi-tan Chen (1986). A quadtree for global information storage. *Geographical Analysis*. (V.18, No.4), (pp. 360-371). DOI: 10.1111/j.1538-4632.1986.tb00108.x
6. Korol, Pavlo Pylypovych. (2017). *Kartohrafichni proektsii: dovidnyk: U 6-kh ch. Ch. 1: Tsylyndrychni proektsii [Map Projections: Handbook: In 6 p. Part 1: Cylindrical Map Projection]*. Lutsk: PP Ivanyuk V.P.
7. Jenny B. (2008). *Map Design for the Internet / B. Jenny, H. Jenny, S. Räber*. // *International Perspectives on Maps and the Internet*. Berlin: Heidelberg, New York: Springer, (pp. 31-48). https://doi.org/10.1007/978-3-540-72029-4_3
8. Samsonov T. E. (2009). Creation interactive map design for Web-services. *ArcReview*, 1 (48), 14-15.
9. Ultrashyrokoekrannyky: «za» y «protyv» [Elektronnyi resurs] [Ultra-wide Screen: “For” and “Against” [Electronic resource]. Kompaniya M.Video. [M.Video Company] (2015). Retrieved from: <https://habr.com/ru/company/mvideo/blog/385859/>.
10. Harrower M. & Keller C. P., Hocking D. (1997). Cartography on the Internet: thoughts and a preliminary user survey. *Cartographic Perspectives*, 26, 27-37. DOI:10.14714/CP26.718

11. Wikle T. (1991). Computer Software for Displaying Map Projections and Comparing Distortions. *Journal of Geography*. (Vol. 90, No.6.), (pp. 264-266). <https://doi.org/10.1080/00221349108979316>

12. Korolov, Yevhen. Svit 18:9: chomu diahonal ekrana skoro stane pohanym mirylom shyryny smartfona [Elektronnyi resurs] [World 18:9: why the diagonal of the screen will soon become a bad measure of the width of the smartphone [Electronic resource] (2017). Retrieved from: <https://techtoday.in.ua/reviews/svit-18-9-chomu-diagonal-ekranu-skoro-stane-poganim-mirilom-shirini-smartfona-72432.html>.

13. Vinge C. L. (1950). Mercator projection: its basis in elementary mathematics / C. L. Vinge // *School Science and Mathematics*. (Vol. 50, No. 439), (pp. 394–401). <https://doi.org/10.1111/j.1949-8594.1950.tb06620.x>

14. Lambert J. H. (1772). *Beitrag zur Gebrauche der Mathematik und deren Anwendung. Anmerkungen und Zusatze zur Entwertung der Land- und Himmelscharten*. Berlin, Part III, Sektion 6. <http://doi.org/10.3931/e-rara-8613>

15. Miller R. (1949). An equirectangular map projection. *Geography*. (Vol. 34, Pt. 4), (pp. 196–201). [Standard parallels 50°28. N. and S. See also correction, 1951, v. 36, pt. 4, p. 270.] <https://www.jstor.org/stable/40564637>

П.П. Король, В.У. Волошин, О.В. Мельник, Ю.С. Блиндер
МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ В
СОВРЕМЕННЫХ СТАНДАРТАХ УСТРОЙСТВ ОТОБРАЖЕНИЯ

Цель данной работы заключается в обосновании необходимости разработки дисплей-ориентированных математических основ с ортогональной картографической сеткой и изыскании адаптированных к размерам экранного фрейма параметров нормальных равноугольных, равновеликих и ривнопромежуточных цилиндрических проекций географических карт мира. Методика. Визуализация геоизображений на устройствах отображения ГИС требует проектирования оптимальных параметров элементов математической основы карт, предполагает выбор или изыскания картографической проекции, подбор масштабного ряда изображений, настройки картографической сетки и т.д. при условии максимально эффективного использования экранного пространства. С целью эффективного заполнения прямоугольного фрейма устройства отображения целесообразно использовать картографические проекции с ортогональной сеткой меридианов и параллелей, к которым относятся нормальные цилиндрические проекции. Обеспечение соотносительности размеров картографического изображения и дисплея достигается применением модифицированных вариантов цилиндрических проекций с переменной широтой параллели прикосновения или параллелей сечения. К преимуществам такого вида проекций, кроме этого, относят возможность оперативного расчета параметров картографической сетки, высокую точность при передаче форм и площадей, тривиальность вычисления параметров искажений, и обратных зависимостей, соотносительность систем экранных и геодезических или прямоугольных координат. Модифицированные цилиндрические проекции является параметризованных функцией широты, что

позволяет варьировать параметрами искажений в зависимости от положения и размеров картографованой территории. Результаты. Экспериментально доказано, что в целях наиболее эффективного использования площади экрана целесообразно использовать ортогональные картографические сетки прямолинейных меридианов и параллелей. Обоснована возможность и целесообразность использования модифицированных цилиндрических проекций как математических основ географических карт мира, предназначенные для воспроизведения на устройствах отображения. Предложена методика вычисления оптимальных параметров нормальных равноугольной, равновеликой и равнопромежуточной цилиндрических проекций. Установлена возможность получения исходных параметров и расчета проекций при произвольных соотношениях параметров фрейма устройства отображения путем подстановки их значений в конечные уравнения соответствующих картографических проекций. Научная новизна и практическая значимость. Научные исследования по совершенствованию математических основ географических карт с целью их адаптации к современным стандартам устройств отображения в Украине не выполнялись. Полученные результаты могут быть использованы разработчиками программного обеспечения при создании картографических web-сервисов, а также картографами - при разработке кондиционных математических основ географических карт различного территориального охвата. Использование модифицированных вариантов равноугольных, равновеликих и равнопромежуточных цилиндрических проекций позволит значительно повысить качество оформления картографического контента web-страниц, обеспечит полноценное использование экранного пространства, высокую детальность картографического изображения и максимальную точность отображения.

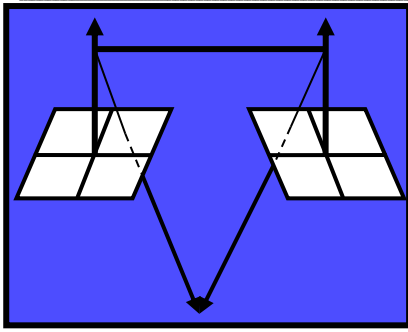
Ключевые слова: модифицированные цилиндрические проекции, ортогональные картографические сетки, стандарты устройств отображения, ГИС-вьювер, web-сервисы.

P. Korol, V. Voloshyn, O. Melnyk, Y. Blinder
MODIFIED CYLINDRICAL PROJECTIONS IN CURRENT STANDARDS
OF DISPLAY DEVICES

The purpose of this work is to justify the need to develop display-oriented mathematical bases with orthogonal map grid and to find the parameters of normal conformal, equal-area and equidistance cylindrical projections for geographical maps of the world, adapted to the size of the screen frame. Method. Visualization of geographical images on GIS display devices requires the design of optimal parameters of elements of the mathematical basis of maps, which involves choosing or surveying a map projection, selecting a scale range of images, setting a map grid, etc., provided that the screen space is used as efficiently as possible. In order to effectively filling the rectangular frame of the display device, it's expedient to use the map projections with orthogonal grid of meridians and parallels, which include normal cylindrical projections. For ensuring the correlation between the sizes of the map image and

display device the modified variants of cylindrical projections with a variable latitude of the tangent parallel or of the secant parallels are used. The advantages of this type of projection, in addition, include the possibility of operative calculation of the map grid parameters, high reproduction accuracy of forms and areas, the triviality of calculation of distortion parameters and inverse dependencies, the correlation between screen and geodetic or rectangular coordinate systems. Modified cylindrical projections are parameterized by latitude function, which allows the variation of distortion parameters depending on the position and size of the mapped area. Results. It has been experimentally proved that for the purpose of the most effective using of the display space, it is expedient to use orthogonal map grids with rectilinear meridians and parallels. The possibility and expediency using the modified cylindrical projections as mathematical bases of geographical maps of the world, which are intended for reproduction on display devices, is substantiated. The method of computing the optimal parameters of normal conformal, equal-area and equidistance cylindrical projections is proposed. The possibility of obtaining initial parameters and calculating projections at arbitrary relations of frame parameters of the display device by setting their values in the final equation of the corresponding map projections is established. Scientific novelty and practical significance. The scientific researches on the improvement of the mathematical bases of geographical maps in order to adapt them to the current standards of display devices in Ukraine were not performed. The obtained results can be used by software developers for creating cartographic web-services, as well as by cartographers – for developing the conditional mathematical bases of geographical maps of various territorial coverage. The use of modified variants of conformal, equal-area and equidistance cylindrical projections will significantly improve the quality of the design of map content of web-pages, will ensure the complete using of the screen space, high detailing of the map image and maximum display accuracy.

Key words: *modified cylindrical projections, orthogonal map grids, standards of display devices, GIS-viewers, web-services.*



ФОТОГРАММЕТРІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

УДК 528.74:72

<https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.67.95-101>

В. О. Катусков, *д-р. техн. наук,*
професор кафедри геоінформатики і фотограмметрії
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ
Б. Р. Сосса, *старший геодезист, ТОВ «Проект-Інвестбуд»*

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЇ ОДИНОЧНОГО АНАЛІТИЧНОГО АЕРОЗНІМКА З ДРОНА

На основі аналітичного моделювання компланарного зв'язку між точками земної поверхні та їх зображенням на аналітичних аерознімках розглянуто особливості визначення елементів зовнішнього орієнтування при аерозніманні з борта безпілотного літального апарата. Показана деформація центральної проєкції при екстраполярному та інтерполярному розташуванні опознаків, за допомогою яких обчислюється зворотна фотограмметрична задача. За проведеним аналізом надані рекомендації по використанню різних методів прив'язування до опознаків.

Ключові слова: *квадрокоптер, аналітичний аерознімок, елементи зовнішнього орієнтування, ітераційне рішення, натурний жезл, опознак, екстраполяційне, інтерполяційне розташування опознаків.*

Вступ. Існуючі безпілотні літальні апарати (БПЛА) за конструкцією бувають різними: радіокеровальні літаки, гелікоптери, шари, ракети, дрони. БПЛА бувають великої чи малої потужності, можуть літати на різні відстані, підніматися на різні висоти, виконувати великий спектр задач. БПЛА застосовують для отримання пошукової інформації, перевезки потрібного вантажу, тушіння пожеж та інш. Точки траєкторії польоту - ракурси вибирає оператор з командного приладу, який може розташовуватись далеко від знімаемого місця. Великопотужні БПЛА перелітають далекі відстані і знаходяться у польоті довго. Малопотужні БПЛА частіше збирають прикладну візуальну інформацію за короткий час. При збиранні інформації дають можливість отримати її з різних ракурсів. Траєкторія руху переміщення БПЛА у простішому випадку задається вручну, а може задаватися і програмно, як що на борту БПЛА встановлена навігаційна система.

В статті розглядається модельне знімання з борта малопотужного БПЛА – дрон (квадрокоптер) з чотирма пропелерами та знімальною камерою. Зображення з камери передається на монітор ноутбука оператора стоячого на землі. При

© В. О. Катусков, Б. Р. Сосса, 2019

цьому оператор керує траєкторією польоту та може змінювати ракурси, таким чином, щоби отримати найбільшу кількість інформації, міняючи просторове положення квадрокоптера. Польовий кут захвату об'єктива у квадрокоптера широкоформатний. Елементи внутрішнього орієнтування f , x_0 , y_0 взяті з паспорта квадрокоптера. Вражають мікронні розміри фокусної відстані та кадру. Наприклад, фокусна відстань має величину 3077 мкм, або 3,077 мм. Ні в наземній ні в аеро-космічній фотограмметрії камери з такими елементами внутрішнього орієнтування не використовують.

При такій технології для отримання видимої ситуації достатньо мати один чи декілька знімків, що залежить від складності та об'єму дослідного об'єкта. Дослідження виконане на аналітичних (макетних) знімках координати зображення яких підраховані аналітичним шляхом.

Аналітичні знімки – це штучні, неіснуючі у натурі знімки [1], координати точок на них розраховані по заданих елементах внутрішнього і зовнішнього орієнтування (ЕЗО) та координатах точок на земній поверхні і дозволяють проводити дослідження у потрібному напрямку. При визначенні ЕЗО з прив'язкою до опорних знаків (чи точок, далі будемо називати їх скорочено ОЗ), як показали попередні роботи у нас [2; 3] та за кордом [5; 6], не завжди отримуємо вірну, недеформовану модель центральної проекції. Нагадаємо, що просторові координати ОЗ треба знати з потрібною точністю. Домовимось що при наступному дослідженні, координати ОЗ та точок на знімку визначені безпомилково, а увагу поставимо лише питанню деформації моделі, що залежить від нахилу аерознімків та розташовуванню ОЗ. Дисторсія об'єктива так саме не розглядається, хоча при дійсному зніманні радіальну дисторсію обов'язково треба враховувати.

Мета роботи показати при якому розташуванні ОЗ отримуємо вірну недеформовану модель об'єкта на земній поверхні обчислюючи одиночний аерознімок.

Виклад основного матеріалу. Для дослідження вибрані два методи прив'язування аерознімка до ОЗ *екстраполяційний* та *інтерполяційний*.

Варіанти обчислення ЕЗО розглянуто з прив'язуванням до найменшої кількості ОЗ (трьох) найменшої кількості знімків (один) та малої висоти аерофотознімання 10 м. Обчислення виконано програмним забезпеченням VZAOR яке дозволяє визначати всі елементи орієнтування, опираючись на координати знімка (знімків) та просторові координати ОЗ. Але при наступному дослідженні функція визначення елементів внутрішнього орієнтування була виключена, тому як відомі паспортні значення f , x_0 , y_0 .

У першому методі використовуємо *екстраполяційне* розташування ОЗ, коли точки об'єкта, що оброблюється, розташовані за зоною жезла на якому закріплені ОЗ. Метод *інтерполяційного* прив'язування використовується коли ОЗ розташовані з зовнішньої сторони відносно точок об'єкта.

По координатах аналітичних знімків вирішуємо зворотну фотограмметричну засічку з визначенням ЕЗО – α , ω , κ , X_s , Y_s , Z_s ітераційним

методом послідовного наближення [4]. В наведених таблицях 1-4 жирним шрифтом у першому рядку надані істинні - безпомилкові значення ЕЗО.

У таблицях 1-4 літерою Q позначена кількість або порядок ітерацій. У першій ітерації, коли $Q = 1$, скорочення *поч* позначає *початкове* значення усіх ЕЗО, яке приймалося нульовим. Позначення *виз* розшифровується як значення *визначених* поправок до початкового чи іншого значення. Початкове значення у таблицях після першої ітерації вже позначає не початкове значення, а сумарне значення, як сума початкового значення та поправки, що визначена у цій ітерації. В наведених таблицях ця сума позначена скорочено як *поп*, що позначає *попереднє* значення ЕЗО для рішення i -тої ітерації. У першому стовпчику таблиць надані назви ЕЗО в яких кутові елементи нахилу знімків приведені як: α , ω , κ у радіанах, а лінійні елементи просторового положення центра проєкції X_s , Y_s , Z_s – у метрах. Третя координата Z_s відповідає висоті польоту квадрокоптера, яка у фотограмметрії позначається буквою $Z_s = H$. У нашому випадку висота фотографування для усіх випадків обчислення прийнята як постійна величина у 10 м. Значення кутових поправок в кожній ітерації показані в радіанах, а значення лінійних поправок у метрах. В останньому стовпчику кутові ЕЗО переведені у градусні величини.

Таблиця 1

Екстраполяційна прив'язка горизонтального знімка

Істинне значення ЕЗО: $\alpha = \omega = \kappa = 0^{\circ}00,0'$, $X_s = 22$ м, $Y_s = 10$ м, $Z_s = 12$ м.								
назва ЕЗО	$Q = 1$		$Q = 2$		$Q = 3$		кінцеве значення	ЕЗО
	<i>поч</i>	<i>виз</i>	<i>поп</i>	<i>виз</i>	<i>поп</i>	<i>виз</i>		
α	0	-.001	-.001	.001	0	0	0	0°00'0
ω	0	.001	.001	-.001	0	0	0	0°00'0
κ	0	0	0	0	0	0	0	0°00'0
X_s , м	0	22.023	22.023	-.018	22.005	0	22.005	22.005
Y_s , м	0	9.959	9.959	.008	9.966	0	9.966	9.966
Z_s , м	0	11.985	11.985	.020	12.005	0	12.005	12.005

ЕЗО окремого знімка табл. 1 обчислені з горизонтальними кутами нахилу α , ω і нульовим розворотом κ . При цьому, ЕЗО визначені з прив'язкою до трьох ОЗ (1, 2, 3) розташованих близько між собою на трикутному жезлі зі стороною 0,3 м.

У табл. 2 надані результати обчислено ЕЗО з граничними «горизонтальними» кутами нахилу у 3° . Відомо що знімки з кутами нахилу α , $\omega \leq 3^{\circ}$ так саме як і в табл. 1 вважаються горизонтальними. Кількість наближень при цьому збільшилася на одиницю.

Таблиця 2

Екстраполяційна прив'язка нахиленого на 3° знімка

Істинне значення ЕЗО: $\alpha = \omega = 3^{\circ}00'00''$ $\kappa = 0^{\circ}00,0'$, $X_s = 22$ м, $Y_s = 10$ м, $Z_s = 12$ м.										
назва ЕЗО	$Q = 1$		$Q = 2$		$Q = 3$		$Q = 4$		кінцеве значення	значенн я ЕЗО
	поч	виз	поч	виз	поч	виз	поч	виз		
α	0	.039	.039	.002	.042	0	.042	0	.042	2°23,3'
ω	0	.066	.066	.011	.077	0	.078	0	.078	4°26,9'
κ	0	0	0	-.003	-.004	.001	-.003	0	-.003	0°10,9'
X_s , м	0	21.742	21.742	.38	22.123	-.003	22.119	0	22.119	22.119
Y_s , м	0	11.648	11.648	-1.703	9.945	-.008	9.937	0	9.937	9.937
Z_s , м	0	11.195	11.195	.573	11.768	-.021	11.747	0	11.747	11.747

У табл. 3 ЕЗО обчислені з кутами нахилу у 6°. Кількість наближень залишилась тою самою, а деформація моделі судячи по відхиленню визначених ЕЗО від істинних збільшилася. Так саме видно що при нульових нахилах знімку деформація моделі дуже мала. Максимальне відхилення бачимо на координаті Y_s , яке досягає значення 0.034 м.

Таблиця 3

Екстраполяційна прив'язка нахиленого на 6° знімка

Істинне значення ЕЗО: $\alpha = \omega = 6^{\circ}00'00''$ $\kappa = 0^{\circ}00,0'$, $X_s = 22$ м, $Y_s = 10$ м, $Z_s = 12$ м.										
назва ЕЗО	$Q = 1$		$Q = 2$		$Q = 3$		$Q = 4$		Кінцеве значення	значен ня ЕЗО
	поч	виз	поч	виз	поч	виз	поч	виз		
α	0	.12	.12	.038	.158	.005	.163	0	.163	9°22.1'
ω	0	.111	.111	.031	.142	.002	.144	0	.144	8°15.6'
κ	0	.003	.003	-.01	-.007	-.003	-.003	0	-.003	0°11.8'
X_s , м	0	20.641	20.641	.995	21.636	-.216	21.419	.001	21.418	21.418
Y_s , м	0	13.963	13.963	-4.124	9.839	-.079	9.761	.001	9.762	9.762
Z_s , м	0	10.824	10.824	.935	11.616	-.143	11.616	0	11.616	11.616

При кутах нахилу знімка в 3° кутові ЕЗО відносно нульових значень табл. 1 піднялися до 36,7' на α , і 1°29,6' на ω . При кутах нахилу знімка в 6° кутові ЕЗО піднялися до 37,9' на α , і 2°15,6' на ω . Лінійні ЕЗО досягають абсолютних значень для 3° нахилу знімка 0,119 м на X_s , і 0,373 м на Z_s . При 6° нахилу знімка ці несходження з істинними досягли значень 0,582 мм на X_s , і 0,484 мм на Z_s .

Зовсім інша картина виникає при використанні ОЗ розташованих на більшій відстані між собою. В цьому випадку запропоноване *інтерполяційне* розташування ОЗ, коли визначуваний об'єкт знаходиться всередині ОЗ. Наприклад замість трьох ОЗ метрового жезла 1, 2, 3 приймемо три ОЗ 1, 17, 18. Тут два ОЗ 2, 3 замінені ОЗ 17, 18, які знаходяться на відстанях 18 та 28 м від 1 ОЗ. Результат обчислення ЕЗО з кутами нахилу знімків у 6° показаний у табл. 4.

Таблиця 4

Інтерполяційне прив'язування до трьох опознаків 1, 17, 18

Істинне значення ЕЗО: $\alpha = \omega = \kappa = 6^{\circ}00'00''$, $X_s = 22$ м, $Y_s = 10$ м, $Z_s = 12$ м.									
назва ЕЗО	Q = 1		Q = 2		Q = 3		Q = 4		значення ЕЗО
	поч	виз	поч	виз	поч	виз	поч	виз	
α	0	.103	.103	-.002	.101	.004	.104	0	5°58,8'
ω	0	.101	.101	.001	.103	.002	.105	0	5°59,3'
κ	0	.065	.065	.056	.121	-.016	.105	0	6°00,2'
X_s , м	0	20.928	20.928	1.129	22.058	-.053	22.005	0	22.004
Y_s , м	0	13.544	13.544	-3.591	9.953	.043	9.996	-.001	9.995
Z_s , м	0	11.119	11.119	.91	12.028	-.026	12.003	0	12.003

Аналізуючи результати обчислення з різними кутами нахилу бачимо, що відхилення визначених ЕЗО при збільшенні кутів нахилу так саме зростають. У табл. 5 надані різниці $\delta = \text{ЕЗО}_{\text{виз}} - \text{ЕЗО}_{\text{іст}}$ тобто різниці визначених ЕЗО від їх істинних значень.

Таблиця 5

Різниці визначених ЕЗО від істинних при різних кутах нахилу знімків

Кути нахилу	кутові ЕЗО, °'			лінійні ЕЗО, м		
	δ_α	δ_ω	δ_κ	δ_x	δ_y	δ_z
3° екстр	0.6°	1.5°	0.2°	0.1	-0.1	-0.3
6° екстр	3.3°	2.3°	0.2°	-0.6	-0.2	-0.4
6° інтер	-1.2'	-0.7'	0.2'	0.004	-0.005	0.003

У табл. 4 кутові і лінійні різниці δ при екстраполяційному прив'язуванні закруглені до десятої долі. Так краще відчувається зв'язок деформацій двох нахилених знімків. Видно що деформація на кутових та лінійних ЕЗО має нелінійну залежність та великі значення. Бачимо стрибки деформації ЕЗО на повздовжньому та поперечному кутів нахилу знімка $\delta_\alpha = 3.3^\circ$, $\delta_\omega = 2.3^\circ$ та просторовій координаті $\delta_x = -0.6$ м. Така велика деформація ЕЗО приводить до суттєвих помилок у координатах точок на місцевості.

Видна різниця у деформації ЕЗО при екстраполяційному та інтерполяційному розташуванні ОЗ. Третій рядок табл. 4 показує деформацію кутових ЕЗО в інтерполяційному прив'язуванні вже не в градусах та десятих долях метра, як у екстраполяційному, а в хвилинах та міліметрах.

Висновок. Результати експериментальних досліджень дозволяють зробити висновок, що екстраполяційне прив'язування, незважаючи на простоту розташування і закріплення ОЗ дає гірший результат деформації ЕЗО та значно програє методу інтерполяційного розташування ОЗ і може пропонуватися при виконанні не топографічних задач. У свою чергу, метод інтерполяційного прив'язання рекомендується для збирання великомасштабних топографічних планів або просторових моделей при вирішенні реставраційних задач, охорони

пам'яток історичної спадщини, використанні ситуацій з ДТП та інших, де вимоги до точності достатньо суворі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Аналитические модели местности и снимков (макетные снимки)*. А.Н. Лобанов, В.Б. Дубиновский, А.И. Салищев и др.-1-е изд. Пер. и доп.-М.: Недра, 1989, 140 с.
2. *Катушков В.О.* Аналітичне модулювання макетних знімків// Інж. геодезія, Вип. 42, 2000, С. 66-73.
3. *Атаманенко Ю. Ю.* Спосіб визначення лінійних елементів зйомки місцевості безпілотною моделлю/ О. Є. Куліковська, Ю. Ю. Атаманенко, О. С. Намінат// Гірничий вісник. – Кривий Ріг. – 2016. – № 101. – С. 41 – 46.
4. *Ітераційний процес обчислення компланарної залежності в наземній прикладній фотограмметрії/ Катушков В.О., Шульц Р.В., Катушкова К.В., Никитенко А.І.*// Містобудування та територіальне планування. Київ, 2012, Вип. 46, С. 260 – 268.
5. *Fraser C. S.* Optimization of Precision in Close-Range Photogrammetry / C. S. Fraser // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – №48(4). – 1982. – С. 561 – 570.
6. *Fraser C. S.* Network Design Optimization in Non-Topographic Photogrammetry / C. S. Fraser // XVth ISPRS Congress Technical Commission V: OTHER APPLICATIONS OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 17-29 June 1984, Rio de Janeiro, Brasil. – Rio de Janeiro. – 1984. – С. 296 – 307.

REFERENCES

1. Lobanov, A.N., Dubinovskii, V.B., Salischev, A.I., et al. (1989). *Analiticheskie modeli mestnosti I snsmkov (maretnue snimki)*[Analytical models of terrain and images (layout images)] Moskva: Nedra [in Russian].
2. Katushkov, V.O. (2000). Analiichne moduliuvannia maketnikh znimkiv [Layout images analytical modeling]. *Inzhenerna geodeziia – Engineering geodesy*, 42, 66-73 [in Ukrainian].
3. Atamanenko, Y.Y., Kulikovska, O.Y., et al.(2016). Spособ vuznachennia lineinyh elementiv ziomki mistevosti bezpilotnoim modelliu [The way to determine a surveying linear elements via UAV model]. *Girnychii visnyk – Mining bulletin*, 101, 41- 46 [in Ukrainian].
4. Katushkov,V.O., & Shults,R.V., et al.,(2012). Iteratsiinui protsess obchilennia komplanatornoi zalezhnosti v nazemniiprikladnoi fotogrammetrii [Urban Design and Territory Planning]. *Mistobuduvannia ta teritorialne planuvannia. - Urban Design and Territory Planning*, 46, 260 – 268 [in Ukrainian].
5. Fraser, C. S., (1982). Optimization of Precision in Close-Range Photogrammetry. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, American Society of Photogrammetry, 48(4), 561 – 570.
6. Fraser, C. S., (1984). Network Design Optimization in Non-Topographic Photogrammetry. XVth ISPRS Congress Technical Commission V: OTHER

APPLICATIONS OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 17–29, June 1984, Rio de Janeiro, Brasil, 296 – 307.

В.О. Катушков, Б.Р. Сосса

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ОДИНОЧНОГО
АНАЛИТИЧЕСКОГО АЭРОСНИМКА С ДРОНА**

На основании аналитического моделирования компланарной зависимости между точками на земле и их изображениями на аналитических аэроснимках рассмотрены особенности определения элементов внешнего ориентирования при съемке с борта беспилотного летательного аппарата. Показана деформация центральной проекции при экстраполярном и интерполярном расположении опознаков по которым решается обратная фотограмметрическая задача. По анализу даны рекомендации использования разных методов привязки к опознакам.

Ключевые слова: квадрокоптер, аналитический аэроснимок, элементы внешнего ориентирования, итерационное решение, натуральный жезл, экстраполяционное, интерполяционное расположение опознаков.

V. Katushkov, B. Sossa

**INVESTIGATION OF DEFORMATION OF A SINGLE ANALYTICAL
AEROGRAPH FROM A DRONE**

Experimental modeling of aerial photography was performed with a location determination of the drone - quadcopter and its referencing to the tags, which are located on the earth's surface. The experiment was made using tags coordinates calculated analytically and points on the ground-located object. It makes possible to eliminate errors caused by the use of real camera installed on low-power drones. The determination of orientation elements with a strict solution of the space resection is considered, when nine unknown orientation elements are calculated from the tags known spatial coordinates. It's possible to determine six instead of nine unknown elements by using pre-calibrated camera. These elements are three angular: two tilts and rotation of the aerial image and three linear: the center of projection spatial coordinates. The elements of orientation determination allow to store and define separate objects of road accident spatial position by solving a photogrammetric traverse computation. The study was made using minimal source material - a single aerial image, using to create a 3D model. In most cases, the created model is enough to provide a correct and objective analysis of the object that was captured. The study of the analytical model proves the expediency of using drones. Recommendations of tags location depending on surveying object spatial coordinates determination preliminary accuracy are given.

Keywords: drone; quadcopter; single image; orientation elements; analytical modeling; collinear dependence; natural bar; point scale.

В.В. Білоус, канд. техн. наук, доц.,
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
С.П. Боднар, асист.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка

МУАРОВИЙ МЕТОД РЕЄСТРАЦІЇ ПЕРЕТИНІВ ПОВЕРХНІ ЛОКАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

В роботі вирішується завдання візуалізації ізоліній рельєфу на поверхні об'ємних тіл із застосуванням явища інтерференції (муарового ефекту), а також обробки матеріалів зйомки з використанням сучасних технологій і програмних засобів цифрових фотограмметрії. Ідея методів полягає в проектуванні на об'єкт лінійних растрів, спостереженні, в реальному часі, муаровою картини і, при необхідності, фотографуванні локалізованого на об'єкті сімейства ізоліній з подальшою обробкою в сучасних графічних редакторах.

Ключові слова: лінійний растр, інтерференція, сімейство ізоліній, муаровий ефект, реальний час.

Постановка проблеми. У зв'язку з розвитком сучасних методів і засобів цифрової фотограмметрії стає реальним відновити ідею візуалізації, аналізу та вимірювання форми поверхні об'ємних тіл шляхом проектування цифровими проекторами лінійних растрів, в результаті чого на об'єкті локалізується сімейство ізоліній у вигляді інтерференційної картини, яку можна спостерігати в реальному часі та сфотографувати. Використання потенціалу сучасної обчислювальної техніки та програмних засобів растрової та векторної графіки надають суттєву перевагу при камеральній обробці цифрової фотозображень.

Метою дослідження є розвиток проекційно-растрових методів побудови перетинів об'ємних тіл для отримання їх просторових параметрів з використанням досягнень цифрової фотограмметрії та комп'ютерної графіки.

Серед відомих в даний час методів вивчення рельєфу поверхні локальних об'єктів великі можливості і перспективу має муаровий метод [1]. Муарова картина виникає в результаті явища інтерференції при сполученні двох тотожних растрів, які представляють собою сукупність подібних елементів, що утворюють періодичну структуру. Геометрична форма такої структури може бути різною [2]. Однак, частіше використовується паралельний растр, який представляє собою сукупність паралельних смуг рівної ширини. Поєднання двох таких растрів з незначним скосом, супроводжується явищем інтерференції та виникненням максимумів і мінімумів прозорості при накладенні смуг в фазі чи протифазі, рис.1.

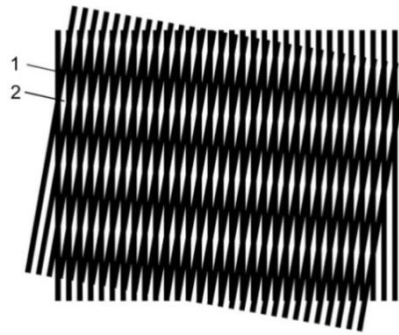


Рис.1. Суміщення паралельних растрів: 1 – область зміщення на половину періоду, 2 - область зміщення на цілий період

У ряді випадків отримання ізоліній поверхні досліджуваного об'єкта досягається досить простими засобами [1]. У безпосередній близькості від об'єкту розташовують растр і освітлюють його під деяким кутом паралельним світловим пучком. Муарова картина сімейства ізоліній виникає при сполученні ліній растра та їх, зміщених поверхнею, тіней.

Муарові лінії перетинів, що локалізуються в просторі між об'єктом і растром, при спостереженні характеризуються досить високим контрастом.

При уявній простоті застосування муарового методу в класичному варіанті обмежується об'єктами, розміри яких не перевищують діаметр паралельного пучка і розмірів растра. Створення плоского світлового пучка значного перетину, а також виготовлення і застосування растрів великих розмірів недоцільно. Для таких об'єктів муарова картина може бути отримана способом проектування растрів оптичними проєкторами з двох рознесених в просторі точок, що представляють собою кінці деякого базису [3]. Сліди січних поверхонь, які виникають у результаті інтерференції тіней від растрів з локалізацією на поверхні об'єкта, спостерігаються в реальному часі і можуть бути сфотографовані. На рис.2 наведено знімок скульптури з ізолініями перетинів, отриманими проектуванням двох растрів.

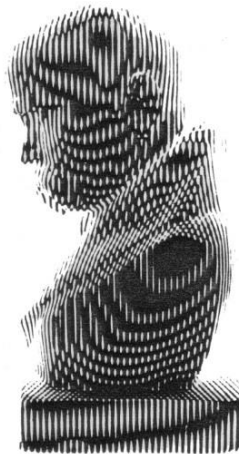


Рис. 2 Знімок скульптури з ізолініями перетинів, отриманими проектуванням двох растрів

Для встановлення в муаровому методі реєстрації перетинів математичних залежностей для растрів, використаємо відомі в наземній фотограмметрії системи координат:

- плоску прямокутну систему координат растру, початок якої співпадає з головною точкою камери проектора і
- просторову систему координат, початок якої співпадає з центром проекції лівого проектора (рис. 3).

Елементи внутрішнього орієнтування визначають положення растра відносно центру проекції проектора. До них відносяться: фокусна відстань камери проектора f , період растра T і x_0 абсциса нульової смуги растра.

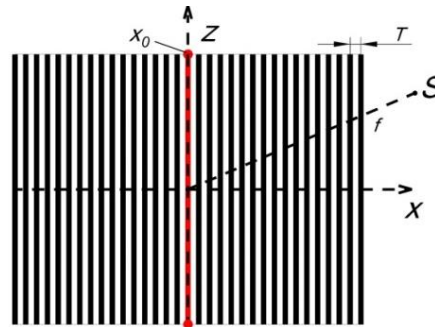


Рис.3 Елементи растра: S – центр проекції, XOZ - плоска система координат растра, T – період растра, f - фокусна відстань камери проектора, X_0 - маркована нульова смуга растра.

Елементи зовнішнього орієнтування (див. рис. 4) визначають положення растра відносно прийнятої системи координат. Положення растра в просторі визначається шістьма параметрами, з яких три лінійні: X, Y, Z - координати центру проекції і α, ω, κ - три кутів.

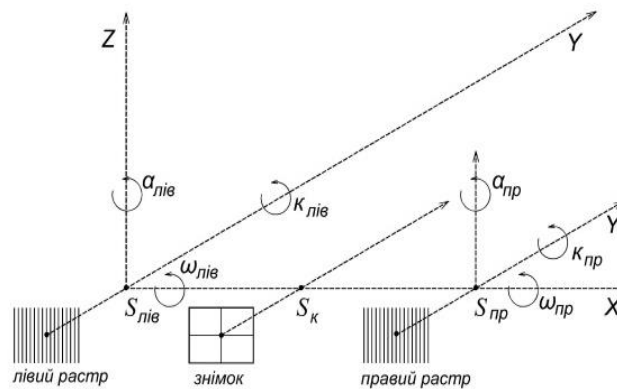


Рис.4 Елементи зовнішнього орієнтування растру: S – центри проекції проекторів і камери з відповідними координатами X, Y, Z ; α – поздовжній кут повороту проектора відносно базису навколо вертикальної осі Z ; ω – поперечний кут повороту навколо осі X ; κ – кут повороту навколо оптичної осі камер.

Під час зйомки з проектуванням муарової картини, в якості елементів зовнішнього орієнтування зручно використовувати координати центру лівого проектора X, Y, Z , базис проектування B , дирекційний напрямок базису A і перевищення центра правого проектора відносно центра лівого проектора. Для реєстрації локалізованих на поверхні об'єкта перетинів застосовується фотокамера, тому необхідно враховувати також елементи внутрішнього і зовнішнього орієнтування камери.

Розглянемо схему отримання картини перетинів для нормального випадку проектування растрів, коли кутові елементи орієнтування растрів дорівнюють нулю, а базис проектування збігається з віссю абсцис (див. рис. 5). У цьому випадку січні поверхні представляють собою площини, що істотно спрощує використання знімків об'єкта із зображенням перетинів його поверхні.

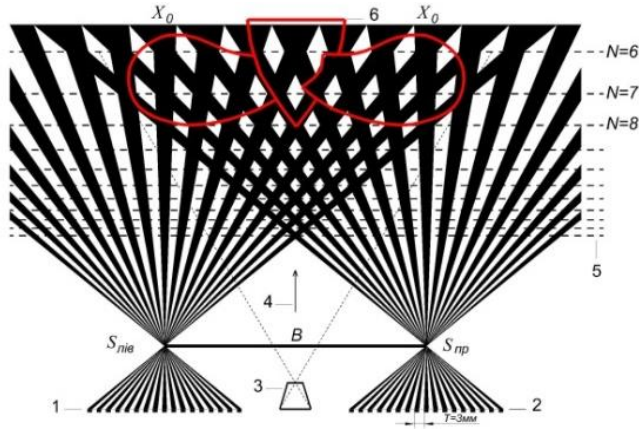


Рис. 5 Нормальний випадок проектування растрів: S – центр проекції; N – номери січних площин; B – базис проектування; X_0 – маркована червоним кольором нульова смуга растру; 1, 2 – проектори, 3 – фотокамера, 4 - напрямок спостереження і фотографування, 5 – січні площини, 6 - об'єкт

При проектуванні двох растрів в області перекриття виникають зони сполучення растрів (інтерференція), в яких проекції растрів збігаються з точністю до періоду або зміщені на половину періоду. При переміщенні від зони до зони освітленість в області перекриття змінює своє значення від максимальної до мінімальної величини. Об'єкт розміщений в області перекриття перетинається сімейством таких зон - *січних поверхонь*. Положення довільної смуги растра в проекторі можна визначити як

$$x = nT, \quad (1)$$

де, n - номер поточної смуги растра, T - період растра.

Тоді паралакс січної площини буде визначатися співвідношенням

$$p = (n_{\text{л}} - n_{\text{п}}) T, \quad (2)$$

де, $n_{\text{л}}$ - номер смуги лівого растра, $n_{\text{п}}$ - номер смуги правого растра.

Для даного паралаксу різниця номерів смуг лівого і правого растрів такої січної площини ціле число, яке можна вважати її номером,

$$N = n_{\text{л}} - n_{\text{п}}. \quad (3)$$

У цьому випадку положення січної площини відносно базису проектування може бути визначено із обернено пропорційній залежності

$$Y = \frac{Bf_{\text{пр}}}{NT} \quad (4)$$

Невідомий параметр, що визначає положення січної площини, номер січної площини, досить просто визначити підрахунком цілого числа періодів зображень растрів, що уклалися між зображеннями маркованих нульових смуг растрів, які відповідають головним точками камер проекторів. На рис. 6 приведено муарову картину поверхні деформованого екрана, яку отримано проектуванням растрів двома проекторами з довільного базису.

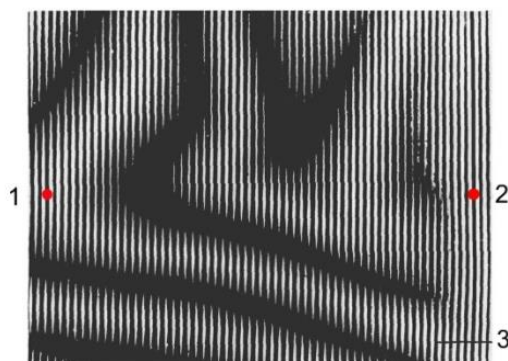


Рис.6. Муарова картина січних площин екрана: 1 – зображення нульової смуги лівого проектора, 2 – зображення нульової смуги правого проектора, 3 – ізолінія січної площини $N58$, $Y_{58} = 321,4$ мм, $B = 280$ мм, $T = 0,3$ мм, $f = 20$ мм

Інтервал між сусідніми перетинами збільшується зі збільшенням номера січної площини і може бути розрахований за формулою

$$h = \frac{Bf_{\text{пр}}}{N(N+1)T} \quad (5)$$

До переваг розглянутої схеми проектування растрів з двох точок простору слід віднести: побудову муарової картини в реальному часі; локалізацію смуг муарової картини на поверхні об'єкта, що дозволяє спостерігати її та одночасно фотографувати, а також простоту визначення просторового положення перетинів. Недоліком схеми можна вважати необхідність використання двох проекторів.

На рис. 7 приведена схема, про можливість застосування якої згадується в роботі [4]. В описаному методі на одному кінці базису розташовується проектуюча камера (проектор), а на іншому фотокамера, у фокальній площині якої, перед світлочутливим шаром, розміщений растр, ідентичний до проектованого. Муарова картина ізоліній перетинів поверхні об'єкта виникає в результаті інтерференції при сполученні смуг растра фотокамери і проєкцій смуг растра проектуючої камери. Ця картина локалізована і спостерігається в реальному часі у фокальній площині фотокамери та може бути сфотографована.

Як і в попередньому випадку, паралакс, який визначає положення січної площини, залежить від різниці номерів смуг лівого і правого растрів і формули, наведені вище, справедливі також й для цієї схеми.

До переваг другого методу слід віднести наявність лише однієї проектуючої камери. Недоліком схеми можна вважати неможливість одночасного спостереження і фотографування інтерференційних перетинів.

На думку авторів можлива для реалізації перспективна схема отримання перетинів поверхні об'єкта, яка виникає у випадку розділення методу знімання і обробки на два незалежні етапи. Перший етап включає виконання зйомки об'єкта фотокамерою звичайного типу з довільного базису, з отриманими на його поверхні проєкціями смуг растра. Поточна смуга растра проектора локалізована на поверхні об'єкта отримує у фотокамері паралактичне зміщення (див. рис. 7 позиція 5).

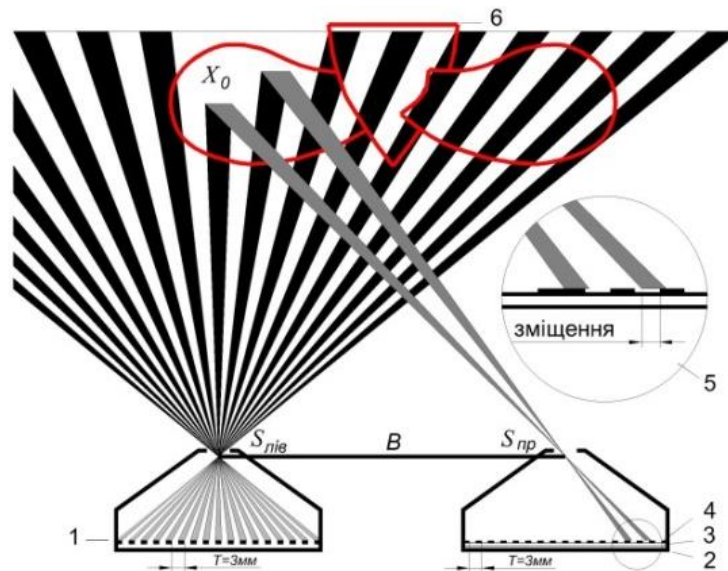


Рис. 7 Схема з використанням проектора і фотокамери з растром: S – центр проекції, B – базис проектування, X_0 – нульова смуга растру, 1 – проектор, 2 – фотокамера, 3 – світлочутливий шар, 4 – растр, 5 – збільшений фрагмент рисунка, 6 - об'єкт

$$p = (n_{л}T - x_{п}) \quad (6)$$

де: $n_{л}T$ – координата зображення відповідної смуги растру проектора, $x_{п}$ – координата зображення зміщеної смуги растру в фотокамері.

На другому етапі (див. рис. 8) виконують візуалізацію та реєстрацію перетинів поверхні об'єкта поєднанням отриманої фотографії растру з паралактично зміщеними лініями, з лінійним растром ідентичним проектуваному, в одному з графічних редакторів (наприклад AutoCAD) [5].

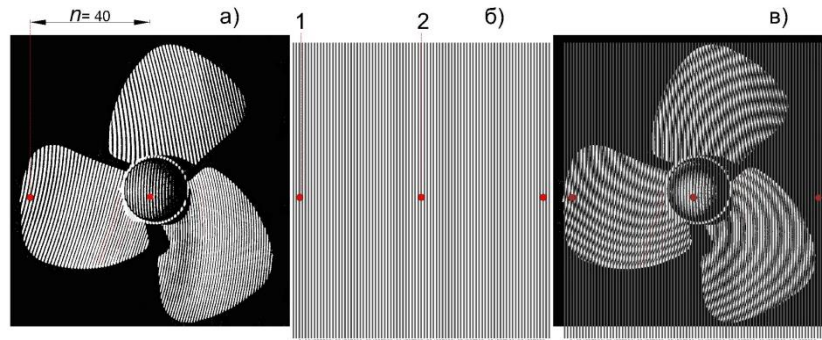


Рис. 8 Реєстрація перетинів суміщенням растрів: а) – зображення проекції растру на об'єкті, б) – растр, в) – результат суміщення проекції растру з растром, 1 – смуга растру $n = 40$, 2 - нульова смуга растру

Величина паралаксу площини перетину визначається із співвідношення:

$$p = n_{л}T - (n_{п}T \pm \Delta T) \quad (7)$$

де, ΔT – зміщення смуг растру в межах одного періоду.

З врахуванням залежності (3) співвідношення (7) можна записати у вигляді

$$p = NT \pm \Delta T \quad (8)$$

У такому випадку положення січної площини можна розрахувати за формулою

$$Y = \frac{Bf_{\text{пр}}}{NT \pm \Delta T} \quad (9)$$

Зміщення смуг растру в межах одного періоду на величину ΔT призводить до переміщення ізолінії січної площини по глибині, що дає можливість «виводити» ізолінії в розраховане місцеположення.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Застосування муарового методу для візуалізації спостереження, аналізу та вимірювання форми поверхні об'ємних тіл шляхом проектування цифровими проекторами лінійних растрів дозволяє достатньо оперативно вивчати особливості форм поверхні об'єкта та синтезувати поле ізоліній перетину. Приведені методи та математичний апарат дозволяють обирати параметри знімання об'єктів, отримувати графічні моделі ізоліній поверхонь в реальному часі і характеризуються наступними перевагами: є дистанційними; у більшості випадків реалізуються в реальному часі, тобто є експрес методами; не вимагають складних операцій вимірювання та обчислення; відрізняються високою реалістичністю і точністю визначення просторового положення перетинів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Голографические неразрушающие исследования*: Пер. с англ. под ред. В.А. Карасева. - М.: Машиностроение, 1979. - 448 с.
2. *Преснухин Л.И., Шаньгин В.Ф., Шаталов Ю.А. Муаровые растровые датчики положения и их применение.* – М.: Машиностроение, 1969. – 203 с.
3. *А.с. 545864 СССР, МКИ⁴ G 01 C 11/04. Способ получения изолиний на фотоснимке/ Молявко М.А., Муталлибов А.-А., Белоус В.В.-* Оpubл. 05.02.77, Бюл. №5.- 4 с.
4. *Оптический производственный контроль*: Под. ред. А.Н. Соснова. - М.: Машиностроение, 1985.- 400 с.
5. *Вандезанд, Джеймс Autodesk: Revit Architecture 2013-2014. Официальный учебный курс / Джеймс Вандезанд, Фил Рид, Эдди Кригел.* - М.: ДМК Пресс, 2013. - 328 с.

REFERENCES

1. Karasev V.A. (Eds.). (1979). *Golograficheskiye nerazrushayushchiye issledovaniya. [Holographic non-destructive research]*. (V.A. Karasev, Trans). Moscow: Mashinostroyeniye [in Russian].
2. Presnukhin L.I., Shangin V.F. & Shatalov Yu.A. (1969). *Muarovyye rastrovyye datchiki polozheniya i ikh primeneniye. Moire raster position sensors and their application*. Moscow: Mashinostroyeniye [in Russian].
3. Certificate of authorship 545864 USSR, MCI G 01 C 11/04. (1977). Molyavko M.A., Mutallibov A.-A. & Belous V.V. *Sposob polucheniya izoliniy na fotosnimke. [The method of obtaining isolines in the photograph]*. [Bulletin 4: February 1977].

4. Sosnov A.N. (1985). *Opticheskiy proizvodstvennyy control. [Optical production control]*. Moscow: Mashinostroyeniye [in Russian].

5. Vandezand James, Reed Phil & Kriegel Eddie (2013). *Autodesk: Revit Architecture 2013-2014. Ofitsial'nyy uchebnyy kurs [Autodesk: Revit Architecture 2013-2014. Official training course]* Moscow: DMK Press [in Russian].

В. В. Белоус, С.П. Боднар

МУАРОВЫЙ МЕТОД РЕГИСТРАЦИИ СЕЧЕНИЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

В работе решается задача визуализации изолиний рельефа на поверхности объемных тел с применением явления интерференции (муарового эффекта), а также обработки материалов съемки с использованием современных технологий и программных средств цифровых фотограмметрии. Идея методов заключается в проектировании на объект линейных растров, наблюдении, в реальном времени, муаровой картины и, при необходимости, фотографировании локализованного на объекте семейства изолиний с последующей обработкой в современных графических редакторах.

Ключевые слова: линейный растр, интерференция, семейство изолиний, муаровый эффект, реальное время.

V. Belous, S. Bodnar

THE MUAR METHOD FOR RECORDING SURFACE SECTIONS OF LOCAL OBJECTS

The work solves the problem of visualizing the relief contours on the surface of three-dimensional bodies using the interference phenomenon (moiré effect), as well as processing the survey materials using modern technologies and digital photogrammetry software. The idea of the methods is to design linear rasters on an object, observe, in real time, a moiré pattern and, if necessary, photograph a family of isolines localized on the object with subsequent processing in modern graphic editors.

Methods and mathematical apparatus are presented that make it possible to select parameters for surveying objects, obtain graphic models of contour lines of surfaces in real time and are characterized by the following advantages: there are remote ones; in most cases, they are implemented in real time, that is, by express methods; do not require complex measurement and calculation operations; are distinguished by high realism and accuracy in determining the spatial position of sections.

This article is intended for students and teachers in the field of knowledge Architecture and engineering and professionals working in the field of application of modern methods of applied photogrammetry.

Key words: linear raster, interference, family history, moiré effect, real time.

Ю.В. Медведский, канд. техн. наук,
доц. кафедры инженерной геодезии

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

РАДИОЛОКАЦИОННАЯ ИНТЕРФЕРОМЕТРИЯ С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АППЕРТУРОЙ В ГЕОДЕЗИИ

В работе рассмотрены радарные спутниковые системы, представленные на рынке на платной и бесплатной основе. Проанализированы методы обработки радиолокационных данных, из них выделены те, которые могут найти применение в решении геодезических задач. Проведен анализ последовательности обработки радиолокационных данных для построения ЦММ (InSAR), определения смещений земной поверхности по паре SAR изображений (DInSAR) и определения скоростей смещения земной поверхности по набору SAR изображений на основе метода постоянных рассеивателей (PS-DInSAR). Для апробации метода DInSAR произведена обработка пары SAR изображений для территории с обвалом земной поверхности над старой солевой шахтой. Полученное изображение рельефа и профиль по его сечению позволяет увидеть форму обвала и значения его глубины. Для апробации метода PS-DInSAR произведена обработка набора из 16-ти снимков Sentinel-1, покрывающих временной интервал с начала по конец 2018 года для территории городов Киева и Вышгорода. Полученные результаты позволяют увидеть как общие тенденции осадки территорий в масштабе города, так и проводить мониторинг отдельных объектов инфраструктуры. Произведён анализ скорости движения части Южного моста, моста Метро и дамбы Киевской ГЭС, который показал динамику движения дорожного покрытия данных объектов инфраструктуры в течении года. По результатам исследования сформирован перечень инженерно-геодезических задач, в которых могут быть использованы данные методы.

Ключевые слова: спутниковая радиолокация, радиолокационная интерферометрия, InSAR, DInSAR, PS-DInSAR, Sentinel-1.

Вступление. Сегодня среди ученых всего мира стало популярным развитие методов обработки данных спутниковой радиолокации и их дальнейшее применение в различных отраслях науки и производства. Существующие методы интерферометрической обработки InSAR, позволяющие построить ЦММ с точностью десятков сантиметров, и дифференциальной интерферометрической обработки DInSAR, позволяющие определить смещение обширных территорий с точностью до единиц миллиметров, представляют очень большой интерес для геодезической отрасли. Внедрение таких методов в геодезические работы позволит получить оперативную информацию о динамических изменениях на объекте, выявить проблемные участки, требующие дополнительного геодезического контроля, улучшить планирование геодезических измерений схем построения геодезического обоснования.

© Ю.В. Медведский, 2019

Анализ исследований и публикаций. Последнее время к вопросу использования данных спутниковой радиолокации возрастает интерес у ученых со всего мира. Например, в России занимаются разработками методики использования радиолокационных данных для тематического картографирования [1] и решением задач определения сезонных деформаций почвы [2]. Применение метода PS-DInSAR на данных TerraSAR-X при анализе осадок в городе Ухань, самом густонаселенном городе Центрального Китая, позволило выявить отчетливую картину проседания в шести основных промышленных зонах максимальной скоростью просадки до 67,3 мм/год [3]. Использование метода радиолокационной интерферометрии InSAR с применением распределенных точек рассеивания сигнала использовали ученые из Китая во время мониторинга оседания Гонконгского международного аэропорта, который находится на насыпном острове [4]. Индийскими учеными использованы данные спутников Sentinel-1 для анализа деформаций города Бенгалор [5]. Применение методов обработки SAR в Ираке позволило отследить изменение скорости деформации плотины, когда реставрационные работы были остановлены из-за временного захвата плотины Исламским государством [6].

По результатам анализа данных работ, очевидно все большее применение данных спутниковой радиолокации в задачах, тесно связанных не только с классической, а и с инженерной геодезией, ведь мониторинг деформаций инженерных сооружений является её специализированной задачей.

Постановка задания. Цель работы состоит в анализе методик использования данных спутниковой радиолокации для задач геодезии.

Общий анализ состояния. В настоящее время функционируют различные радарные спутниковые системы – проекты ведущих космических агентств, среди них (табл. 1): TerraSAR-X/TanDEM-X (DLR, Германия), Cosmo-SkyMed (ASI, Италия), Sentinel-1 (ESA, Евросоюз), Radarsat-2 (MDA/CSA, Канада), ALOS-2 (JAXA, Япония), Kompsat-5 (KARI, Корея). Кроме того, имеется большой объем архивных радиолокационных данных со спутников, прекративших своё существование: ERS, JERS, Envisat, Radarsat-1, ALOS-1 и др. На данный момент также ведется разработка съемочных систем нового поколения TanDEM-L.

Интерферометрический метод имеет высокую теоретически достижимую точность результатов, сопоставимую с длиной волны используемого источника излучения.

Таблица 1

Основные характеристики современных радиолокационных спутников

Спутниковая система	TerraSAR-X TanDEM-X	Cosmo-SkyMed	Radarsat-2	ALOS-2	Sentinel-1	Kompst-5
Рабочий диапазон	X	X	C	L	C	X
Длина волны, см	3,1	3,1	5,6	22,9	5,5	3,2
Разрешение, м	0,25 .. 40	1 .. 100	1 .. 100	1 .. 100	5 .. 20	0,85 .. 20

Но не только вид радарного спутника определяет пригодность радиолокационных данных для выполнения того или иного вида работ, в зависимости от выбранного метода обработки радиолокационных данных мы можем получать различные характеристики исследуемой поверхности. Рассмотрим основные методы обработки РЛС [1]:

- радарграмметрия – обработка стереопар амплитудных изображений, позволяющая формировать цифровые модели рельефа;
- интерферометрическая обработка (InSAR – interferometric SAR), использующая, наряду с амплитудной, фазовую информацию и позволяющая получать сведения о высотах поверхности [7];
- дифференциальная интерферометрическая обработка (DInSAR – differential interferometric SAR), как и InSAR, использует информацию о фазе сигнала, но результатом её являются величины и скорости смещений поверхности. В последнее время особое развитие получили разновидности этого метода PS (Persistent Scatterers - метод постоянных рассеивателей) [8] и SBAS (Small Baseline Subset – метод малых базовых линий) [9], использующие большие массивы данных (несколько десятков снимков) и позволяющие определять смещения с точностью до миллиметров;
- когерентный анализ – метод использует в своей основе промежуточный результат интерферометрической обработки, а именно изображение когерентности, позволяющее выявлять изменения местности;
- селекция движущихся целей – обработка результатов интерферометрических съёмов с ориентацией интерферометрической базы вдоль направления движения спутника, позволяющая вычислять скорости движущихся объектов;
- радиолокационная поляриметрия (PolSAR - Polarimetric SAR) – обработка разнополяризованных изображений, позволяющая получать сведения о механизмах рассеяния радиоволн различными объектами [10] [Lee, Pottier, 2009];
- поляриметрическая интерферометрия (PolInSAR - Polarimetric-Interferometric SAR) – технология, сочетающая в себе поляриметрическую и интерферометрическую обработку, позволяющая извлекать информацию о структуре рассеивающего объекта благодаря съёмке одновременно в нескольких поляризационных каналах и о высотах за счёт разности фаз между каналами изображений;
- различные способы комплексирования (data fusion) радиолокационных данных со снимками в оптическом диапазоне позволяют изучать свойства местности, проявляющиеся одновременно на изображениях в разных спектральных диапазонах.

Наиболее интересными с точки зрения геодезии являются методы InSAR и DInSAR. Обработка материалов радиолокационной съёмки такими методами включает ресурсоемкие алгоритмы, реализованные как в коммерческих, так и в открытых программных продуктах. В табл.2 указан перечень наиболее известных программ и программных комплексов для обработки SAR изображений такими методами.

Таблиця 2

Програмное обеспечение для обработки SAR изображений

Название	Тип системы	Доступ
GMT5SAR, InSAR ISCE, PyroSAR, SNAP, ISCE2, Doris	Комплекс ПО	полный/частичный
SARViews, ENVI SARscape, GAMMA, ERDAS IMAGINE, SARPROZ	Комплекс ПО	коммерческий
MintPy, SNAPHU, StaMPS	Модули этапов обработки	полный

Теория обработки InSAR и DInSAR. Исходными данными, используемыми для интерферометрии, являются пары радиолокационных данных и соответствующие навигационные данные. Процедура, используемая для генерации интерферометрических продуктов в виде изображения высот поверхности (рельефа) или смещений земной поверхности за период времени, начинается с обработки сырых радиолокационных данных уровня Level 0 до уровня Level 1, схематически показана на рис.1

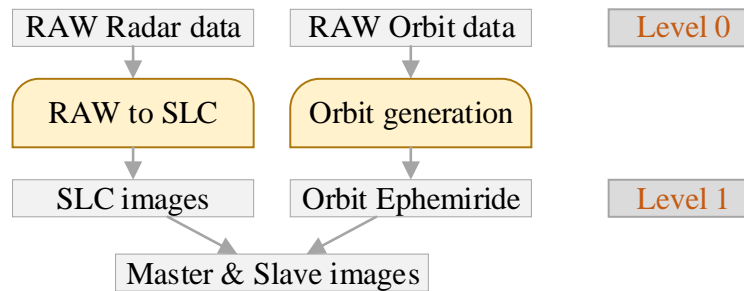


Рис.1. Схема обработки сырых SAR изображений

Большинство радиолокационных данных проходят указанные на схеме процедуры фокусировки данных и генерации координат спутника на стороне поставщика данных, потому доступны для скачивания параллельно с сырыми данными. Дальнейшая обработка имеет последовательность, изображенную на рис.2

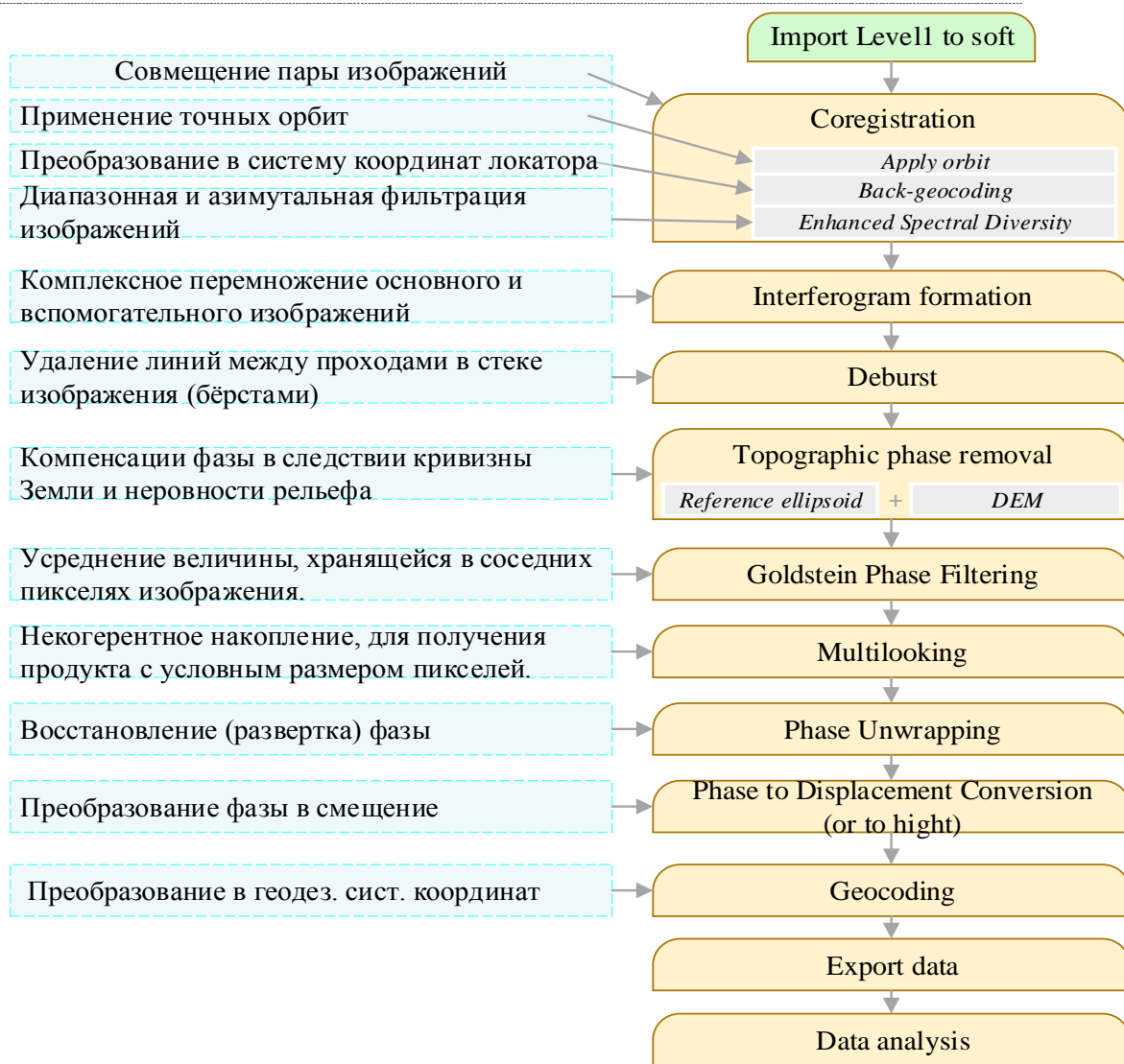


Рис.2. Алгоритм обработки SAR Level 1 по паре снимков

По результатам выполнения этапа обработки «Преобразование фазы в смещение» происходит определение величины смещения в направлении линии прямой видимости радара (Line-of-sight, LOS) [11]. На рис.3 схематично показано расчетную величину смещения в направлении линии прямой видимости радара.

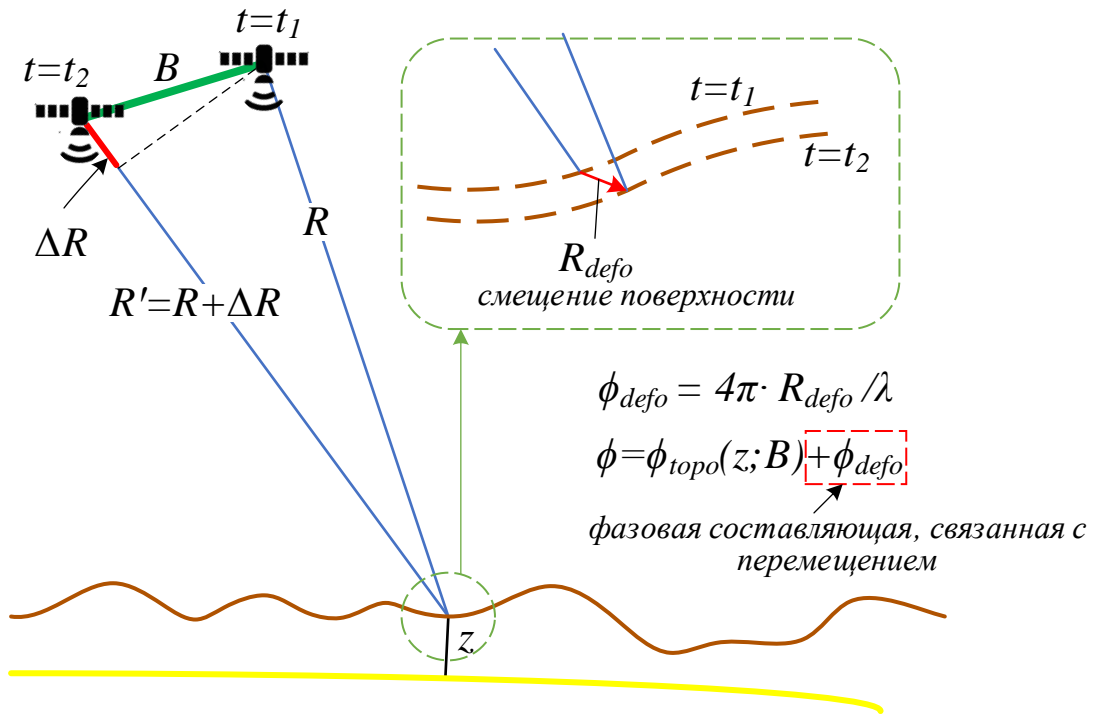


Рис.3. Расчет смещения в направлении линии прямой видимости радара

Положительные значения LOS-смещений означают движение поверхности по направлению к радару (поднятие, uplift), отрицательные — движение от радара (понижение, subsidence). Расчет смещений осуществляется по формуле:

$$R_{defo} = \frac{\lambda}{4\pi} \phi_{defo}, \quad (1)$$

и представляет собой LOS-смещение, взятое со знаком "минус" и измеряемое в метрах. Учитывая геометрию определяемого смещения, его можно разложить на компоненты в проекциях плоскостей координат Z и Y, после чего перейти от LOS к ΔZ (рис.4).

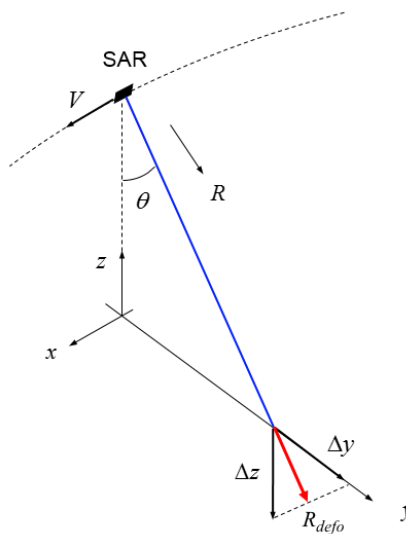


Рис.4. Расчет вертикальных смещений поверхности

Если представить связи между смещениями следующим выражением:

$$R_{defo} = \Delta y \cdot \sin\theta - \Delta z \cdot \cos\theta, \quad (2)$$

Значение вертикальных смещений можно найти по следующей формуле:

$$\Delta z = -\frac{\lambda}{4\pi \cos\theta}, \quad (3)$$

где θ - угол съемки SAR, λ – длина волны SAR

Основным недостатком данного подхода является сильная декорреляция SAR изображений с течением времени, что накладывает ограничения на продолжительность периода наблюдений.

Теория обработки PS-DInSAR. Исходными данными, используемыми для интерферометрии, являются серии радиолокационных данных, что позволяет снизить потери корреляции между снимками и охватить больший период времени. Основное отличие от DInSAR метода состоит в определении пикселей на изображениях, которые будут иметь устойчивую когерентность на протяжении всей серии изображений (постоянных рассеивателей). Процесс подготовки данных до уровня Level 1 аналогичен выше рассмотренной схеме, поэтому на рис.5 будет отображена схема дальнейшей обработки SAR изображений на примере связки SNAP, SNAPHU и StaMPS.

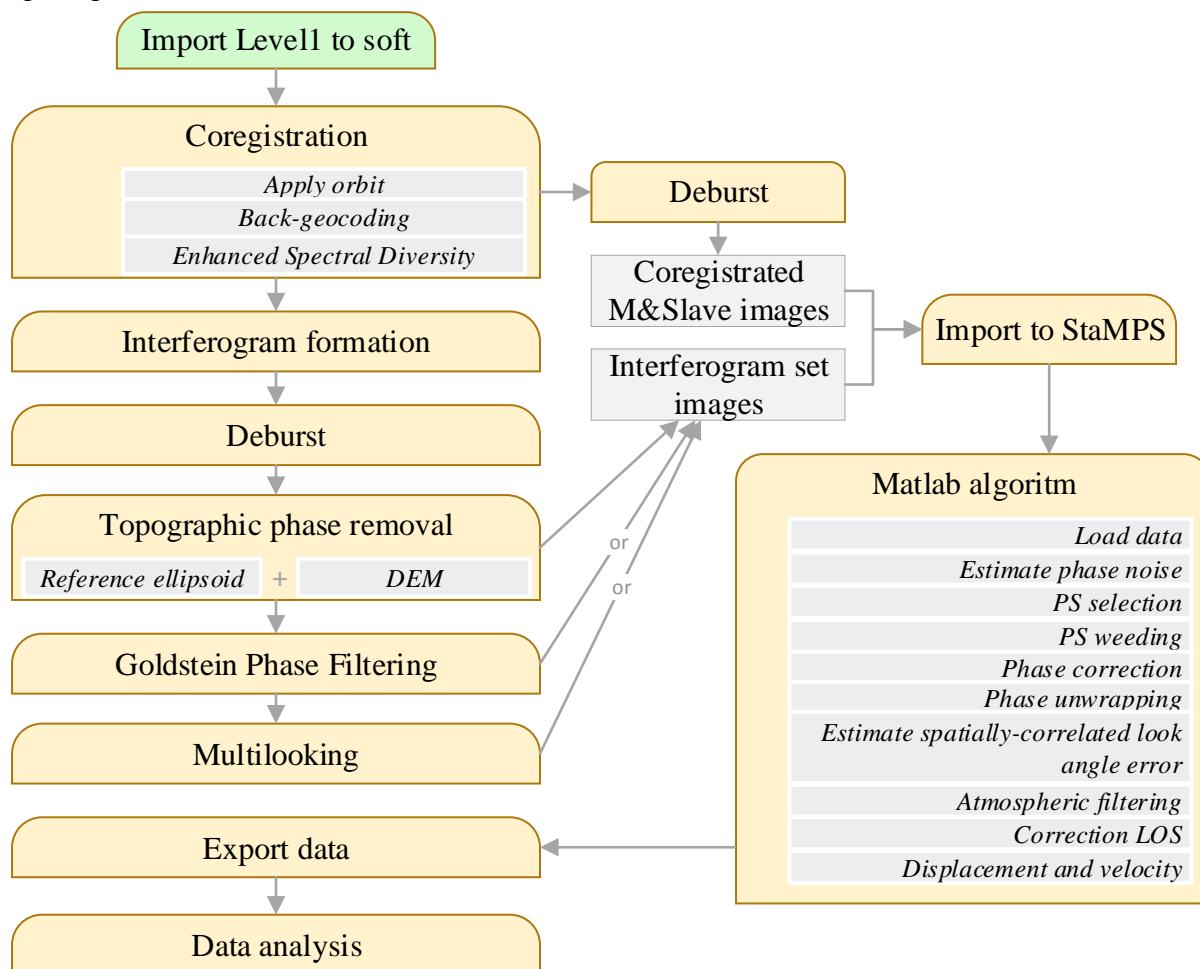


Рис.5. Алгоритм обработки SAR Level 1 по методу PS-DInSAR

По результатам обработки получаем файл с координатами точек постоянных рассеивателей и значениями скорости их движения по направлению LOS.

Экспериментальная часть. Для обработки метода DInSAR было решено взять территорию с уже произошедшим осадочным процессом и сравнить фактические изменения земной поверхности и результаты обработки SAR изображений. В качестве объекта съемки выбрана территория возле городов Трускавец и Дрогобыч, где после землетрясения магнитудой до 3 баллов образовался провал земной поверхности диаметром до 300 метров и глубиной до 50 метров. На данной территории в 70-80-х годах велась активная добыча калийной соли, в результате которой под землей остались значительные подземные полости.

Исходными материалами радиолокационных данных послужила пара снимков Sentinel-1 режима IW (размер пикселя 5x20м) за период с 28.09.2017 по 04.10.2017.

На рис.6. отображен участок земной поверхности до и после обвала.



Рис.6. Оптическое изображение территории обвала

По результатам обработки данных, получена модель земной поверхности, на которой отчетливо видно изменение в рельефе (рис.7.). Построенный профиль по сечению VV позволяет увидеть форму обвала и значения его глубины.

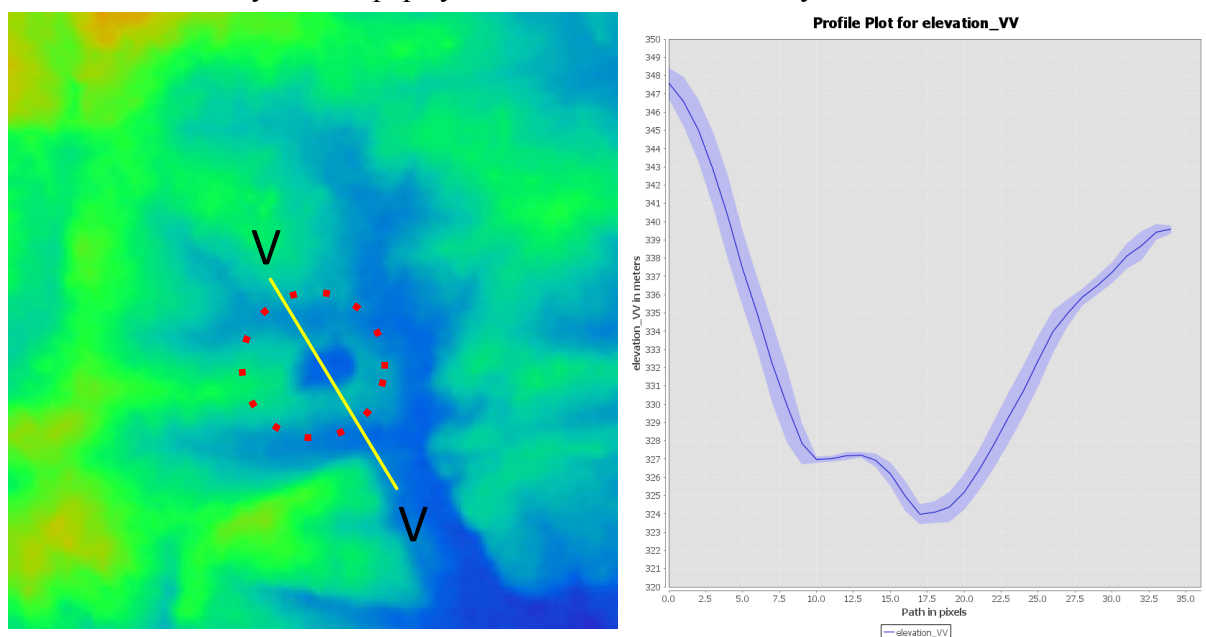


Рис.7. Изображение рельефа и профиля по сечению VV

Для обробки метода PS-DInSAR було вирішено взяти територію міста Києва і Вишгорода і відслідкувати динаміку таких об'єктів інфраструктури як мости, аеропорт, дамба. Исходними матеріалами радіолокаційних даних послужив набір із 16-ти знімків Sentinel-1 режиму IW (розмір пікселя 5x20м) за 2018-й рік. Обробка проводилась по методу постійних розсіювачів з використанням зв'язки програмного забезпечення SNAP+SNAPHU+StaMPS, для візуалізації результатів використаний модуль StaMPS Visualizer.

Общая картина по всей территории обработки представлена на рис.8.

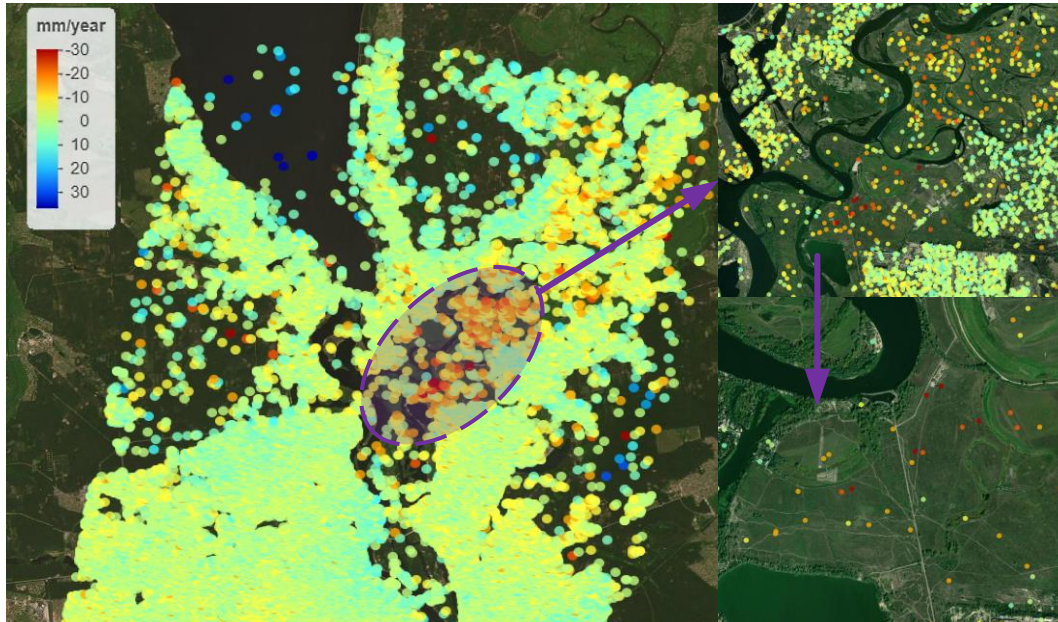


Рис.8. Карта значень швидкостей осадки для г. Київ за 2018 рік

Аналізуючи стільки велику територію в цілому, можна отримати розуміння загальних тенденцій осадки територій в масштабі міста.

З метою більш детального аналізу обрано декілька цікавих областей. На ділянці моста Метро обрано декілька точок по його осі і значення швидкостей деформації нанесено на один графік (рис.9).

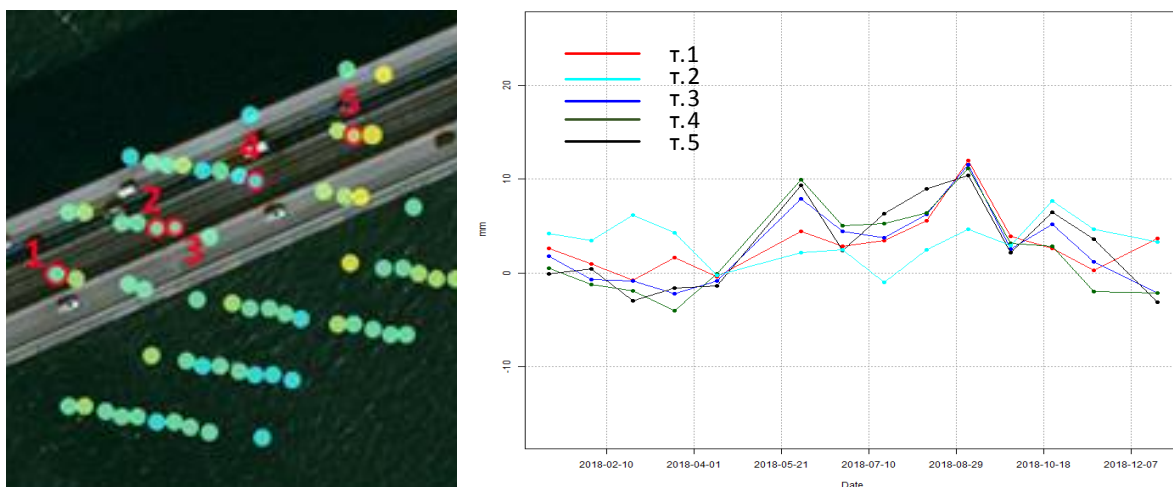


Рис.9. Динаміка руху точок дорожнього покриття моста Метро в мм/рік

Аналогічно обрані дані на Южному мосту, дані швидкостей деформації сведені на одному графіку і приведені на рис.10.

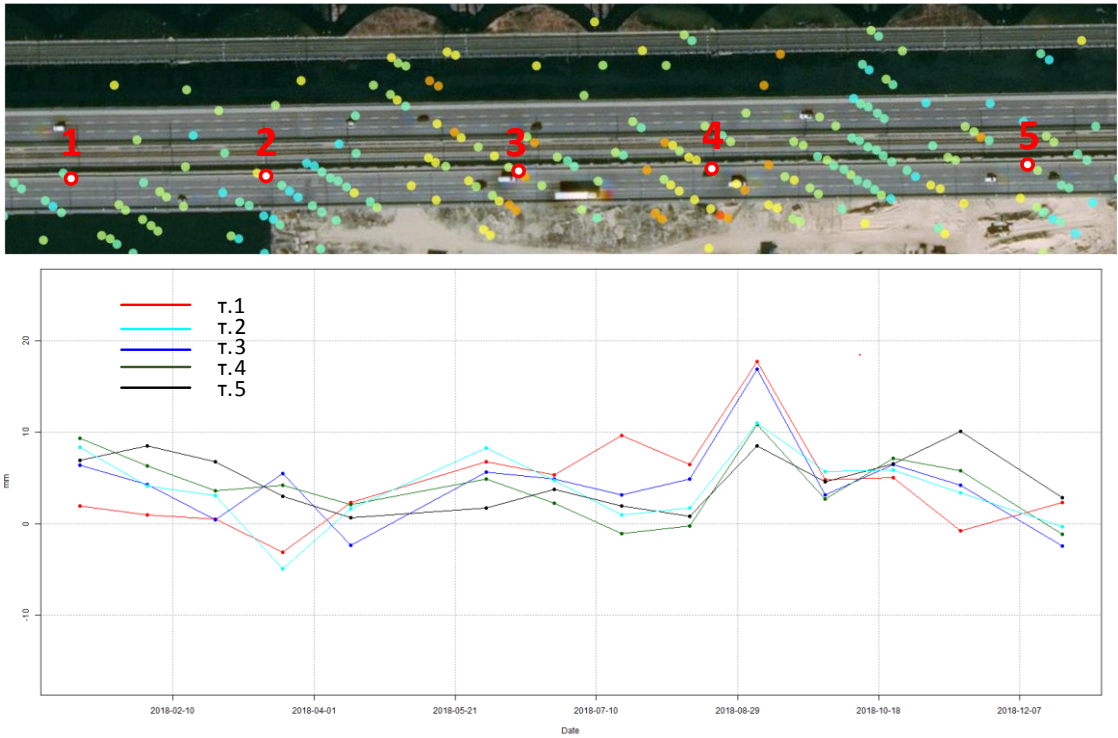


Рис.10. Динамика движения точек дорожного покрытия Южного моста в мм/год

На дамбе Киевской ГЭС распределение скоростей движения точек, расположенных вдоль дорожного полотна, оказалось не столь слаженным, как в предыдущих примерах на мостах, но в то же время они имеют определенные зависимости. Как видно по рис.11, динамика движения точек 2 и 5 имеет схожий вид, аналогично схожи графики у точек 3 и 4, что может свидетельствовать о разной динамике движения ближе к центру дамбы и у её краёв. В случае с мостами через р. Днепр такая картина могла не наблюдаться, так как выбранные участки анализа находятся далеко от краёв моста.

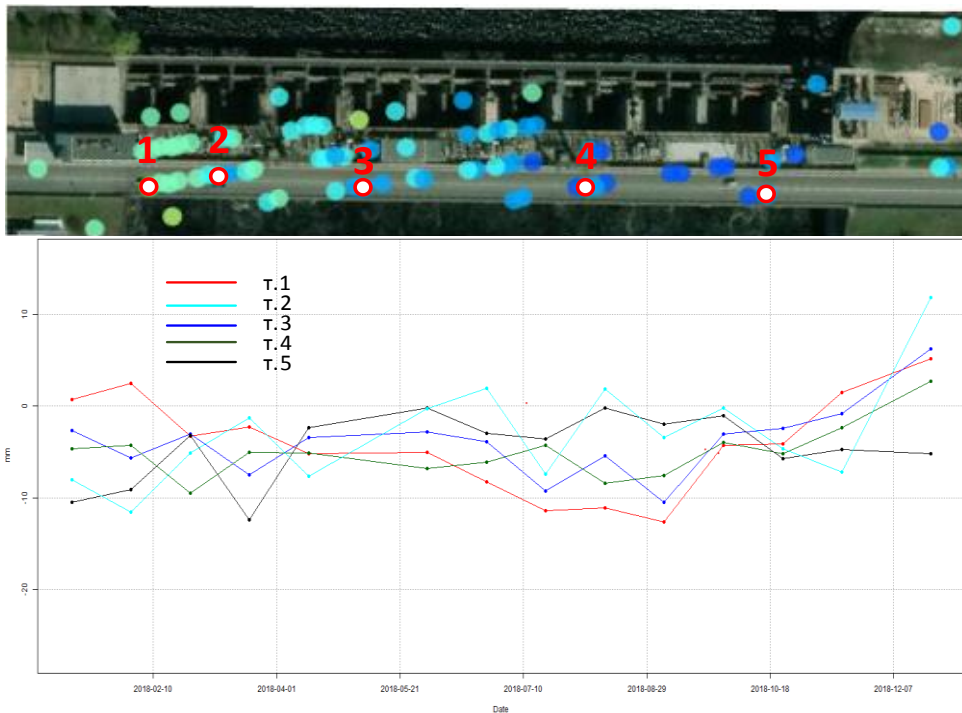


Рис.11. Динамика движения точек дорожного покрытия Киевской ГЭС в мм/год

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трошко К.А. Разработка методики использования радиолокационных данных для тематического картографирования : дис. ... кандидата географ. наук : 25.00.33 / Трошко Ксения Анатольевна. – Москва : МГУ им. М.В. Ломоносова, 2018. – 158 с.
2. Даругов Н.П. Радиолокационная интерферометрия сезонных деформаций почвы и фазовая модель обратного рассеивания микроволн двухслойной средой с шероховатыми границами / Н.П. Даругов, А.В. Дмитриев, С.И. Добрынин, А.И. Захаров, Т.Н. Чимитдоржиев // Оптика атмосферы и океана. – 2016. – №7. – С. 585–591.
3. Bai, L., Jiang, L., Wang, H., и др. Spatiotemporal characterization of land subsidence and uplift (2009-2010) over Wuhan in Central China revealed by TerraSAR-X InSAR analysis. *Remote Sensing*. – 2016. – Vol. 8, No. 4.
4. Sun, Q., Jiang, L., Jiang, M., и др. Monitoring coastal reclamation subsidence in Hong Kong with distributed scatterer interferometry. *Remote Sensing*. – 2018. – Vol. 10, No. 11. – P. 1–25.
5. Ittycheria, N., Vaka, D. S., Rao, Y. S. . Time series analysis of surface deformation of Bengaluru city using Sentinel-1 images. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. – 2018. – Vol. 4, No. 5. – P. 473–477.
6. Milillo, P., Bürgmann, R., Lundgren, P., и др. Space geodetic monitoring of engineered structures: The ongoing destabilization of the Mosul dam, Iraq. *Scientific Reports*. – 2016. – Vol. 6, No. December.
7. Moreira, A., Prats-Iraola, P., Younis, M., и др. A tutorial on synthetic aperture radar. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*. – 2013. – Vol. 1, No. 1. – P. 6–43.
8. Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2001. – Vol. 39, No. 1. – P. 8–20.
9. Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R., и др. A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. – 2002. – Vol. 40, No. 11. С. 2375–2383.
10. Greatbatch, I. Polarimetric Radar Imaging: from basics to applications, by Jong-Sen Lee and Eric Pottier. *International Journal of Remote Sensing*. – 2012. – Vol. 33, No. 2. – P. 661–662.
11. Pepe, A., Calò, F. A review of interferometric synthetic aperture RADAR (InSAR) multi-track approaches for the retrieval of Earth's Surface displacements. *Applied Sciences (Switzerland)*. – 2017. – Vol. 7, No. 12.

REFERENCES

1. Troshko, K. A. (2018). Development of a method for using radar data for thematic mapping [Razrabotka metodiki ispol'zovaniya radiolokatsionnykh dannykh dlya tematicheskogo kartografirovaniya]. *Candidate's thesis*. Moscow: Moscow State University M.V. Lomonosov [in Russian].
2. Darugov N.P., & Dmitriev A.V., & Dobrynin S.I., & Zakharov A.I., & Chimitdorzhiev T.N. Radar interferometry of seasonal soil deformations and a phase model of microwaves backscattering by a two-layer medium with rough boundaries [Radar interferometry of seasonal soil deformations and a phase model of microwaves backscattering by a two-layer medium with rough boundaries]. *Optika atmosfery i*

ocean – *Optics of the atmosphere and ocean*, 7, 585-591 [in Russian].

3. Bai, L., Jiang, L., Wang, H. (2016). Spatiotemporal characterization of land subsidence and uplift (2009-2010) over Wuhan in Central China revealed by TerraSAR-X InSAR analysis. *Remote Sensing* (Vol. 8, No. 4).

4. Sun, Q., Jiang, L., Jiang, M. (2018). Monitoring coastal reclamation subsidence in Hong Kong with distributed scatterer interferometry. *Remote Sensing* (Vol. 10, No. 11), (pp. 1–25).

5. Ittycheria, N., Vaka, D. S., Rao, Y. S. (2018). Time series analysis of surface deformation of Bengaluru city using Sentinel-1 images. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (Vol. 4, No. 5), (pp. 473–477).

6. Milillo, P., Bürgmann, R., Lundgren, P. (2016). Space geodetic monitoring of engineered structures: The ongoing destabilization of the Mosul dam, Iraq. *Scientific Reports* (Vol. 6, No. December).

7. Moreira, A., Prats-Iraola, P., Younis, M. (2013). A tutorial on synthetic aperture radar. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine* (Vol. 1, No. 1), (pp. 6–43).

8. Ferretti, A., Prati, C., Rocca, F. (2001). Permanent scatterers in SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* (Vol. 39, No. 1), (pp. 8–20).

9. Berardino, P., Fornaro, G., Lanari, R. (2002). A new algorithm for surface deformation monitoring based on small baseline differential SAR interferograms. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* (Vol. 40, No. 11), (pp. 2375–2383).

10. Greatbatch, I. (2012). Polarimetric Radar Imaging: from basics to applications, by Jong-Sen Lee and Eric Pottier. *International Journal of Remote Sensing* (Vol. 33, No. 2), (pp. 661–662).

11. Pepe, A., Calò, F. A. (2017). review of interferometric synthetic aperture RADAR (InSAR) multi-track approaches for the retrieval of Earth's Surface displacements. *Applied Sciences* (Switzerland), (Vol. 7, No. 12).

Ю.В. Медведський

ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ВИСОТНИХ СПОРУД З ВИКОРИСТАННЯМ НЕМЕТРИЧНИХ ЦИФРОВИХ КАМЕР

В роботі розглянуті радарні супутникові системи, представлені на ринку на платній і безкоштовній основі. Проаналізовано методи обробки радіолокаційних даних, з них виділені ті, які можуть бути застосовані для рішення геодезичних задач. Проведено аналіз послідовності обробки радіолокаційних даних для побудови ЦММ (InSAR), визначення зсувів земної поверхні по парі SAR зображень (DInSAR) і визначення швидкостей зсуву земної поверхні по набору SAR зображень на основі методу постійних розсіювачів (PS-DInSAR). Для апробації методу DInSar проведена обробка пари SAR зображень для території з обвалом земної поверхні над старою соляною шахтою. Отримане зображення рельєфу і профіль по його розрізу дозволяють побачити форму обвалу та його глибину. Для апробації методу PS-DInSar проведена обробка набору з 16-ти знімків Sentinel-1, що покривають часовий інтервал з початку по кінець 2018 року для території міст Києва та Вишгорода. Отримані результати дозволяють побачити як загальні тенденції осідання територій в масштабі міста, так і проводити моніторинг окремих об'єктів інфраструктури. Зроблено аналіз швидкості руху

частини Південного моста, моста Метро і дамби Київської ГЕС, який показав динаміку руху дорожнього покриття даних об'єктів інфраструктури протягом року. За результатами дослідження сформовано перелік інженерно-геодезичних задач, в яких можуть бути використані дані методи.

Ключові слова: супутникова радіолокація, радіолокаційна інтерферометрія, InSAR, DInSAR, PS-DInSAR, Sentinel-1

Yu. Medvedskiy

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

The article provides description of paid and free radar satellite systems, which represented in the market. Methods for processing radar data were analyzed and those of them that can be used in solving geodetic problems were identified. The following methods were analyzed: formation sequence of radar data processing for constructing the DTM (InSAR), determining the displacements of the earth's surface from a pair of SAR images (DInSAR) and determining the rates of displacement of the earth's surface from a set of SAR images based on the method of permanent scatterers (PS-DInSAR). To test the DInSAR method, a pair of SAR images was processed for an area with a collapse of the earth's surface over an old salt mine. The resulting image of the relief and surface section profile allows you to see the shape of the collapse and the values of its depth. To test the PS-DInSAR method, a set of 16 Sentinel-1 images over 2018 was processed for the territory of the cities of Kiev and Vyshgorod. The results make it possible to see both the general trends of the surface subsidence on a city scale, and to monitor individual infrastructure facilities. The speed of movement of the road surface the Metro bridge, the South Bridge and the Kiev hydroelectric dam was analyzed. The result showed the dynamics of the road surface movement of these infrastructure facilities throughout the year. Based on the results of the research, a list of engineering and geodetic problems was formed in which these methods can be used.

Key words: satellite radar, radar interferometry, InSAR, DInSAR, PS-DInSAR, Sentinel-1.

Надійшла до редакції

29.09.2019

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, висвітлених 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, переплет – 10 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 (*.docx).
- 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 67

Комп'ютерне верстання *В.С. Стрілець*

Дизайн обкладинки: *В.С. Стрілець*
Д.В. Горковчук

Підписано до друку 20.12.2019. Формат 60 × 84 ^{1/16}
Ум. друк. арк. 15,34. Обл.-вид. арк. 16,5.
Тираж 200 прим. Зам. № С-9099.

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. Багговугівська, 36 кв. 46, Київ, Україна, 04107

Свідоцтво про державну реєстрацію юридичної особи
Серія А01 № 624904