

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ВИПУСК 63, 2016

ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Заснований у 1965 році

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

У збірнику висвітлюються актуальні питання:

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

Постановою президії ВАК України №1-05/3 від 10 квітня 2010 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 № 50 від 09.12.2016)*

**Адреса редакційної колегії:
Україна, 03680, м. Київ,
Повітрофлотський пр., 31
Тел.: +38(044)249-72-51;
+38(044)241-54-71;
+38(044)241-55-69
e-mail: eng_geodesy@meta.ua**

© Київський національний університет будівництва і архітектури, 2016

УДК 528 І-62

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

Відповідальний редактор **Степан ВОЙТЕНКО**, д-р техн. наук, професор, професор кафедри геоінформатики і геодезії (Придніпровська державна академія будівництва і архітектури, **Дніпро**)

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

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

Члени редколегії**Міжнародні члени редколегії**

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

Михайло БРИНЬ, д-р. техн. наук, проф., 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**)

Мурат МУСТАФІН, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри інженерної геодезії (Національний мінерально-сировинний університет «Горний», Санкт-Петербург, **Росія**)

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

Олександр ЧІБУНІЧЕВ д-р техн. наук, професор, проректор (Московський державний університет геодезії і картографії, Москва, **Росія**)

Василь ШЛАПАК, канд. техн. наук, професор, професор кафедри геодезії (Московський державний університет геодезії і картографії, Москва, **Росія**)

Андрій ШОЛОМИЦЬКИЙ, д-р техн. наук, професор, професор кафедри інженерної геодезії та маркшейдерської справи (Сибірська державна геодезична академія, Новосибірськ, **Росія**)

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

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

Члени редколегії з України

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

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

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

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

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

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

Члени редколегії засновника

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ISSUE 63, 2016

ENGINEERING GEODESY

SCIENTIFIC AND TECHNICAL COLLECTION

Founded in 1965

State Registration Certificate of print media

KV series number 4185 from May 10, 2000

The book covers topical issues in

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

Decisions of the Presidium of VAC of Ukraine №1 -05/3 from April 10, 2010 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 №50 from 09.12.2016)*

Editorial board address
Ukraine, 03680, Kyiv,
Povitroflotsky avenue, 31
Tel.: +38(044)249-72-51;
+38(044)241-54-71;
+38(044)241-55-69
e-mail: eng_geodesy@meta.ua

UDC 528

EDITORIAL BOARD

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

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

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

Editorial Members**Foreign Editorial Members**

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

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

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

Murat MUSTAFIN, Dr. of Sciences, Professor, Head of Department of Engineering Geodesy (National Mineral Resources University (University of Mines), Saint Petersburg, **Russia**)

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

Alexander CHIBUNICHEV Dr. of Sciences, Professor, Vice-rector (Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, **Russia**)

Vasily SHLAPAK, Ph.D, Professor, Professor Department of Geodesy (Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, **Russia**)

Andriy SHOLOMICKIY, Dr. of Sciences, Professor, Professor Department of Engineering Geodesy and mine surveying (Siberian state geodesic academy, Novosibirsk, **Russia**)

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

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

Editorial Members from Ukraine

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

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

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

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

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

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

Editorial Members from University

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Roman SCHULTZ, Dr. of Sciences, Professor, Professor Department of Engineering Geodesy (Kyiv national university of construction and architecture, Kyiv, **Ukraine**)

З М І С Т**ГЕОДЕЗІЯ**

1. *П.В. Манько, П.П. Король* Перспективи інтеграції ДГМ України у світову гравіметричну мережу 7
2. *В.К. Чибіряков, В.С. Староверов, К.О. Нікітенко* Загальний підхід до моделювання напружено-деформованого стану магістрального газопроводу для визначення геодезичної точності вимірювання 14
3. *В.К. Чибіряков, А.М. Станкевич, В.С. Староверов, Г.С. Акчуріна, О.А. Шорін* Про одну розрахункову модель для дослідження деформацій дамб та гребель та обґрунтування точності геодезичних спостережень 21
4. *А.А. Великорусова* Розроблення методики створення тривимірної моделі за допомогою фототахеометра TOPCON IS-301 34
5. *В.М. Гладілін, Н.С. Шудра, П.О. Чуланов* Моделювання спостережень точок реверсії при гіроскопічному орієнтуванні 44
6. *А.М. Хайлак* Застосування кластерного аналізу до визначення зон рівномірних переміщень протизсувних споруд 55
7. *Н.В. Куліченко* Дослідження методів оцінювання параметрів прострових оболонок у задачі спостереження за деформаціями за даними наземного лазерного сканування при наявності систематичних похибок 67
8. *В.С. Стрілець* Дослідження впливу температурних деформацій захисних споруд на результати геодезичного моніторингу 82

КАДАСТР І МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

9. *Ю.М. Чобану* Дослідження вартості житлової нерухомості 91
10. *О.А. Бугаєнко* Оптимізація перерозподілу земель при впорядкуванні існуючих землеволодінь і землекористувань 99

ГЕОІНФОРМАТИКА ТА КАРТОГРАФІЯ

11. *Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко, Ясуюкі Окада* Склад і принципи розроблення національного профілю стандартів з географічної інформації 110

ФОТОГРАММЕТРІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

12. *В.О. Катушков, С.Б. Радченко* Векторизація споруд на цифровій моделі місцевості 122

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

129

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

1. *P. V. Manko, P. P. Korol* Aspects of integration of NGS of Ukraine into global gravimetric system 7
2. *V.K. Chibiriakov, V.S. Staroverov, K.O. Nikitenko* General approach to modeling stress-strain state gas mains to determine the geodetic measurement accuracy 14
3. *V.K. Chibiriakov, A.M. Stankevych, V.S. Staroverov, H.S. Akchurina, A.A. Shorin* About one computational model for research strain of dams and justification accuracy of geodetic observations 21
4. *A.A.Velykorusova* Development methods creating three-dimensional models using total station TOPCON IS 301 34
5. *V. N. Gladilin, N. S. Shudra, P.A. Chulanov* Modelling observation of reversion points during gyroscopic orientation 44
6. *A.M. Khailak* The using of cluster analysis for identification of uniform areas of anti landslides structures displacements 55
7. *N.V. Kulichenko* Determination of historic buildings rolls by terrestrial laser scanning 67
8. *V. Strilets* Influence of temperature deformations of defensive structures on the results of geodetic monitoring 82

CADASTRE AND MONITORING OF LANDS

9. *Yu. Ciobanu* The structural model of functioning of the residential real estate market 91
10. *O. Bugaienko* Land reallocation optimization at the existing land ownership and land tenure improvement 99

GEOINFORMATICS AND CARTOGRAPHY

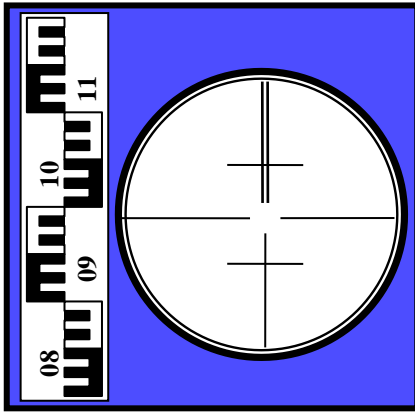
11. *Yu. O. Karpinskyi, A. A. Lyashchenko, Yasuyuki Okada* Structure and principles development of national profile standards of geographic information 110

PHOTOGRAMETRY AND EARTH REMOTE SENSING

12. *V. Katushkov, S. Radchenko* Vectorizing of the constructions on the digital surface model 122

NOTED AUTHORS

129

**ГЕОДЕЗІЯ**

УДК 528.2 (477)

П. П. Король, канд. географ. наук, доцент**П. В. Манько**, студент

кафедри геодезії, землевпорядкування і кадастру

Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки

ПЕРСПЕКТИВИ ІНТЕГРАЦІЇ ДГМ УКРАЇНИ У СВІТОВУ ГРАВІМЕТРИЧНУ МЕРЕЖУ

У роботі проаналізовано історичні аспекти становлення та сучасний стан функціонування державної гравіметричної мережі України. Розглянуто гравіметричні мережі сусідніх європейських країн – Польщі і Німеччини та порівняно їх із ДГМ України. Обґрунтовано потребу у створенні високоточної гравіметричної мережі України. Подано рекомендації щодо модернізації ДГМ України з метою її інтеграції у світову та європейську гравіметричні мережі.

Ключові слова: державна гравіметрична мережа України, точність гравіметричних мереж, гравіметричне знімання.

Вступ. З метою інтеграції України у світову та європейську економічні системи, запровадження сучасних систем навігації, участі українських науковців у міжнародних наукових дослідженнях з метою вивчення фігури та гравітаційного поля Землі, а також картографування території нашої держави Кабінет Міністрів України ухвалив постанову «Про впровадження на території України Світової геодезичної системи координат WGS84» № 2359 від 22 грудня 1999 р. Відповідно до цієї постанови Державною службою геодезії, картографії і кадастру була розроблена програма, пов'язана з впровадженням цієї геодезичної системи координат на території України та модернізації геодезичної мережі. Окремим підпунктом програми передбачено виконання системних високоточних гравіметричних вимірювань на пунктах фундаментальної геодезичної мережі України [1].

В Україні невирішеними залишаються такі важливі аспекти проблеми, як невідповідність сучасного стану гравіметричної мережі світовим та європейським вимогам, інтегрування вітчизняної гравіметричної мережі у світову, розвиток головної висотної основи країни та узгодження державної нівелірної мережі з

нівелірними мережами сусідніх європейських країн у межах європейських проектів, а також побудова моделі квазігеоїда для території України у сантиметровому діапазоні точності [2].

Аналіз досліджень і публікацій. Сучасний стан гравіметричних мереж України розглянуто у статтях [1; 4], перспективи їх розвитку – в публікаціях [1; 2; 3; 4], а можливість інтеграції державних гравіметричних мереж у світову гравіметричну мережу висвітлено в роботі [5]. Автори цих робіт зазначають, що Україна стрімко розвивається в економічному і науковому напрямках, однак сучасний стан Державних геодезичних мереж країни слід визнати незадовільним, оскільки вони були створені ще за часів СРСР відповідно до тогочасних вимог. Особливу увагу слід звернути на те, що Україна є єдиною країною в Європі, територія якої не повністю покрита гравіметричними зніманнями у масштабі 1:50 000, що ускладнює процес інтеграції національної гравіметричної мережі у світову та європейську гравіметричні мережі.

Основна частина. Опорні гравіметричні мережі створюють з метою отримання системи базових пунктів, які використовують як основу для виконання детальних гравіметричних знімань. Гравіметричні мережі поділяють на світові, регіональні і локальні.

Локальні гравіметричні мережі створюють для вирішення завдань геодинаміки та геофізики на базі регіональних гравіметричних мереж, які за своєю суттю є фундаментальними мережами згущення, створеними на загальнодержавному рівні для визначення аномалій сили земного тяжіння з метою розвідки родовищ корисних копалин. Світові гравіметричні мережі створюють шляхом об'єднання локальних гравіметричних мереж з метою визначення фігури Землі та її внутрішньої будови.

У межах держав створено національні гравіметричні мережі. В історичному аспекті процес їх становлення можна умовно поділити на три етапи: на першому етапі (кінець XIX ст. – 30-ті рр. XX ст.) національні гравіметричні мережі будували у Потсдамській системі за допомогою відносних методів на основі маятникових вимірювань; на другому етапі (30-ті рр. XX ст. – 70-ті рр. XX ст.) їх побудова здійснювалась відносними методами на основі вимірювань пружинними статичними гравіметрами; на третьому етапі (70-ті рр. XX ст. – наш час) національні гравіметричні мережі почали створювати відносними методами з прив'язкою до мережі МГСМ-71 (Міжнародна гравіметрична стандартна мережа 1971 р.) або шляхом органічного поєднання абсолютних і відносних вимірювань. Модернізація національних гравіметричних мереж на третьому етапі була спричинена підвищенням вимог до їх точності і надійності, що зумовило потребу у використанні нових сучасних приладів для виконання абсолютних і відносних вимірювань та новітньої методики спостережень.

До 1924 року в Україні системні і систематичні гравіметричні спостереження не проводились, а закладені гравіметричні пункти не мали зв'язку між собою і з міжнародним вихідним пунктом у Потсдамі. У 1926 році з ініціативи А. Я. Орлова у Полтаві при Українській Головній палаті мір і ваг створено гравіметричну обсерваторію, що дало змогу виконувати дрібномасштабне гравіметричне картографування території України.

Нині Державна фундаментальна гравіметрична мережа України не функціонує. Мережа 1-го класу складається з 18 гравіметричних пунктів (вихідного пункту «Полтава» і 17 основних пунктів), більшість з яких визначено до середини 80-х рр. ХХ ст. з прив'язкою до пункту «Льодово» (Російська Федерація). Роботи зі створення ДГМ-2 в Україні тривали в 1962-1987 роках. За цей час закладено 126 гравіметричних пунктів. У 2009 році фахівцями ДГЕ «Дніпрогеофізика» обстежено всі пункти ДГМ-2 та деякі пункти ДГМ-1. Під час обстежень виявлено, що 109 пунктів ДГМ-2 є частково або повністю збереженими і після відновлення можуть бути використані, а решта 17 пунктів втрачено, отже виникла потреба в їх перезакладенні. Результати обстежень наведено на рис. 1 [4].



Рис. 1. Гравіметрична мережа України (станом на 01.09.2009 р.)

У 1993 році завершено роботи з врівноваження системи з 3760 пунктів гравіметричної мережі ДГМ-3, середня відстань між якими на місцевості становить 15 км, що суперечить європейським вимогам щодо їх якості.

Для порівняння розглянемо структуру фундаментальних гравіметричних мереж сусідніх європейських країн, зокрема Польщі та Німеччини, що дає змогу намітити ефективні заходи з модернізації ДГМ України.

Німецьку фундаментальну гравіметричну мережу DSGN94 створено 1994 р. шляхом повторних вимірювань мережі ФРН 1976 р. (DSGN76) з поширенням її на територію колишньої НДР. Нині мережа охоплює 30 пунктів, зокрема центральний світовий гравіметричний пункт «Потсдам», 19 пунктів

мережі DSGN76 та 10 пунктів, що були наново закладені на східних територіях (рис. 2).



Рис. 2. Фундаментальна гравіметрична мережа Німеччини DSGN94

Фундаментальну гравіметричну мережу Польщі (POGK) закладено у 1994-1998 роках. Вона охоплює 12 абсолютних фундаментальних пунктів із щільністю 1 пункт на 26 000 км² (рис. 3). Мережа 1-го класу складається з 363 пунктів з щільністю 1 пункт на 870 км². У 1999 році розпочалися роботи з модернізації польської гравіметричної мережі.

Програмою розвитку ДГМ України передбачено закладення 15 фундаментальних гравіметричних пунктів, однак і така кількість пунктів є недостатньою для створення сучасної гравіметричної мережі, оскільки у такому разі її щільність становитиме лише 1 пункт на 40 000 км² за проектної щільності 1 пункт на 15 000 км² (щільність фундаментальних гравіметричних пунктів у Німеччині та Польщі становить 1 пункт на 12 000 км² та 11 000 км² відповідно).

Гравіметрична мережа України повинна бути відповідною вимогам IGC (табл. 1).

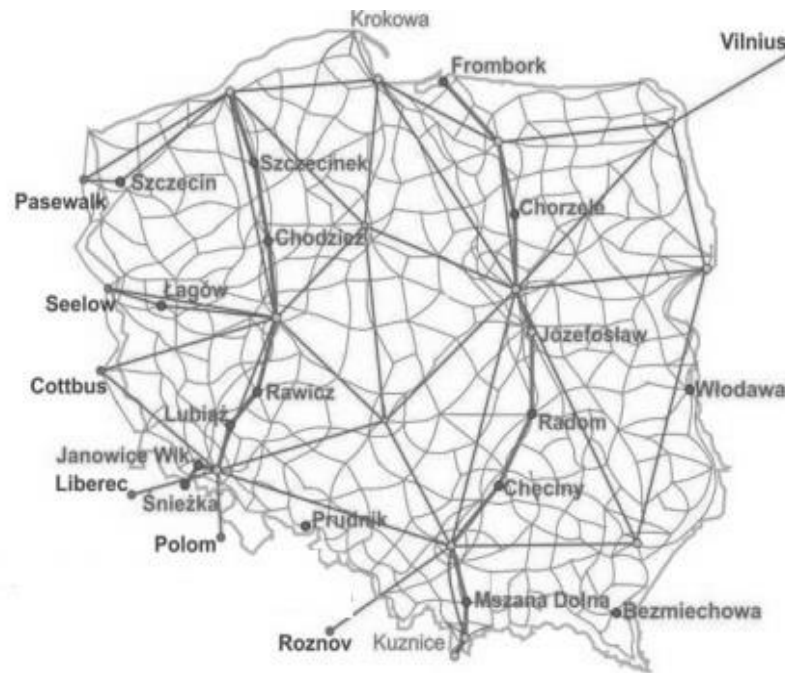


Рис. 3. Фундаментальна гравіметрична мережа Польщі ROGK

Таблиця 1

Характеристики існуючої та проекційної гравіметричних мереж України

Клас мережі	Наявна мережа			Вимоги до модернізованої мережі		
	Кількість пунктів	Точність визначення g , мкГал	Щільність мережі (1 пункт/км ²)	Кількість пунктів	Точність визначення g , мкГал	Щільність мережі (1 пункт/км ²)
Фундаментальна	-	-	-	40	5	15000
1 клас	18	30	33500	200	10	2500
2 клас	126	35	4200	5800	10	100
3 клас	3760	30	155	6000	15	50

Авторами статті [6] запропоновано варіант побудови ДФГМ України у вигляді широтно-довготної схеми з наявністю двох квазіортогональних гравіметричних базисів: широтного (Харків – Дніпро (Дніпропетровськ) – Сімферополь) та довготного (Харків – Полтава – Київ – Рівне – Луцьк) з опорним гравіметричним пунктом у смт. Липці Харківської області (рис. 4). У перспективі пропонується створення другого довготного базису (Ужгород – Івано-Франківськ – Вінниця – Кропивницький (Кіровоград) – Запоріжжя – Донецьк).



Рис. 4. Проект побудови гравіметричної мережі України

Висновок. Закладання опорних пунктів гравіметричних мереж відповідно до міжнародних стандартів якості сприятиме інтеграції України у світову та європейську економічні системи, запровадженню сучасних систем навігації, участі в міжнародних наукових дослідженнях, вивченню фігури та гравітаційного поля Землі, а також картографуванню території нашої держави.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Двуліт П. Д.* Гравіметрична мережа України: сучасний стан і перспективи розвитку / П. Д. Двуліт // Геодинаміка. – 2009. – №1. – С. 44-46.
2. *Двуліт П. Д.* Завдання модернізації гравіметричної мережі України / П. Д. Двуліт, О. В. Смелянець // Вісник геодезії та картографії. – 2013. – №6. – С. 6-10.
3. *Двуліт П. Д.* Основні напрямки розвитку державної гравіметричної мережі України / П. Д. Двуліт, О. В. Кучер // Вісник геодезії та картографії. – 2009. – №6. – С. 11-13.
4. *Двуліт П. Д.* Про необхідність модернізації гравіметричної мережі України / П. Д. Двуліт, О. В. Смелянець // Геодинаміка. – 2012. – №2(13). – С. 34-37.
5. *Сидоренко Г.С.* К интеграции национальной гравиметрической сети Украины в мировую гравиметрическую сеть / Г.С. Сидоренко // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – №2. – С. 133-136.
6. *Сидоренко Г. С.* Проблеми досягнення високої точності вимірів при побудові гравіметричної мережі / Г. С. Сидоренко, О. М. Мірошніченко, О. В. Кучер, І. М. Заєць // Вісник геодезії та картографії. – 2006. – №5. – С. 10-16.

REFERENCES

1. Dvulit P.D. (2009). Hravimetrychna merezha Ukrainy: suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku [Gravimetric network of Ukraine: Current State and Prospects for Development]. Heodynamika – Geodynamics, 1, 44–46 [in Ukrainian].
2. Dvulit P.D. & Smelianets O.V. (2013). Zavdannia modernizatsii hravimetrychnoi merezhi Ukrainy [The task of modernizing gravimetric network of Ukraine]. Visnyk heodezii ta kartohrafii – Journal of Geodesy and Cartography, 6, 6–10 [in Ukrainian].
3. Dvulit P.D. & Kucher O.V. (2009). Osnovni napriamky rozvytku derzhavnoi hravimetrychnoi merezhi Ukrainy [The main directions of development of state gravimetric network in Ukraine]. Visnyk heodezii ta kartohrafii – Journal of Geodesy and Cartography, 6, 11–13 [in Ukrainian].
4. Dvulit P.D. & Smelianets O.V. (2012). Pro neobkhdnist modernizatsii hravimetrychnoi merezhi Ukrainy [On the need to modernize Ukraine gravimetric network]. Heodynamika – Geodynamics, 2(13), 34–37 [in Ukrainian].
5. Sidorenko H.S. (2002). K integracii nacionalnoj gravimetricheskoy seti Ukrainy v mirovuyu gravimetricheskuyu set [By the integration of the national gravimetric network of Ukraine into the world gravimetric network]. Radioelektronika i informatika – Electronics and Informatics, 2, 133–136 [in Ukrainian].
6. Sydorenko H.S. & Miroshnychenko O.M. & Kucher O.V. & Zaiets I.M. (2006). Problemy dosiahnennia vysokoi tochnosti vymiriv pry pobudovi hravimetrychnoi merezhi [Problems achieve high accuracy measurements at construction gravimetric network]. Visnyk heodezii ta kartohrafii. – Journal of Geodesy and Cartography, 5, 10–16 [in Ukrainian].

П. В. Манько,

П. П. Король

**ПЕРСПЕКТИВЫ ИНТЕГРАЦИИ ГГС УКРАИНЫ
В МИРОВУЮ ГРАВИМЕТРИЧЕСКУЮ СЕТЬ**

В работе проанализированы исторические аспекты становления и современное состояние функционирования государственной гравиметрической сети Украины. Рассмотрены гравиметрические сети соседних европейских стран - Польши и Германии и сравнены с ГГС Украины. Обоснована необходимость создания высокоточной гравиметрической сети Украины. Даны рекомендации по модернизации существующей ГГС Украины с целью ее интеграции в мировую и европейскую гравиметрические сети.

Ключевые слова: государственная гравиметрическая сеть Украины, точность гравиметрических сетей, гравиметрическая съемка.

P. V. Manko,

P. P. Korol

**ASPECTS OF INTEGRATION OF NGS OF UKRAINE
INTO GLOBAL GRAVIMETRIC SYSTEM**

The historical aspects of formation and current state of operation of the national gravimetric network in Ukraine are analyzed. Necessity of creating precision gravimetric network in Ukraine is grounded. For compare, the structures of fundamental gravimetric networks of neighboring European countries, including Poland and Germany are considered. The necessity of creation of precise gravimetric network in Ukraine was shown. The recommendations regarding the modernization of UNGS by compaction a network of bases points for its integration into the global and European gravimetric system were given. In particular, in the program of GHS Ukraine development the creation of 15 fundamental gravity points is provides and variant of build Ukrainian DFHM as a latitude-longitudinal scheme with the presence of two quasiorthogonal gravity bases: latitudinal (Kharkiv-Dnipropetrovsk-Simferopol) and longitudinal (Kharkiv-Poltava-Kiiv-Rivne-Lutsk) are proposed. In the future, the creating a second longitudinal basis (Uzhgorod-Ivano-Frankivsk-Vinnitsa-Kirovograd-Zaporizhzhya-Donetsk) is proposed.

Keywords: state gravimetric network of Ukraine, the precision of gravimetric networks, gravimetric survey.

Надійшла до редакції

25.02.2016

УДК 528.48

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

**ЗАГАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ НАПРУЖЕНО-
ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ МАГІСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДУ
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОДЕЗИЧНОЇ ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ**

Розглянуто та проаналізовано методи впливу геологічних процесів на магістральні газопроводи, а також загальний порядок визначення напружено-деформованого стану (НДС) магістральних газопроводів в ґрунтовій основі.

Для оцінювання НДС магістрального газопроводу використано модель балки на пружній основі при згині. Розв'язано систему рівнянь з певними граничними умовами за допомогою ефективного чисельного методу С.К. Годунова.

© В.К. Чибіряков, В.С. Староверов,
К.О. Нікітенко, 2016

Моделювання точності на такому рівні гарантує фіксацію деформацій конструкції та ґрунтового масиву.

Використано методологію, що дає змогу прогнозувати вплив небезпечних геологічних процесів на газопровід, запропоновано рекомендації щодо підвищення точності виконання геодезичних робіт у небезпечних геологічних умовах.

Ключові слова: магістральний газопровід (МГ), напружено-деформований стан (НДС), прогин газопроводу.

Вступ. Досвід експлуатації магістральних газопроводів свідчить, що недооцінка впливу таких факторів, як кріогенні процеси, зсуви, водно-ерозійні, гравітаційні процеси та інші чинники призводять до руйнування газопроводів, що спричинює економічні витрати, а також забруднення навколишнього середовища.

Найважливішою складовою, від якої залежить міцність трубопроводу, є напружено-деформований стан газопроводу і його зміна під впливом експлуатаційних і природно-кліматичних факторів. Таким чином, за результатами оцінювання та моніторингу НДС лінійної частини газопроводів можна знизити рівень напружень в трубопроводі й уникнути аварійної ситуації. Це зумовлює потребу в розробленні та вдосконаленні інженерно-геодезичних методів моніторингу магістральних газопроводів.

Основними транзитними напрямками газотранспортної системи України є і надалі залишатимуться магістральні газопроводи «Союз», Уренгой – Помари – Ужгород, «Прогрес» та система газопроводів Єлець – Кременчук – Ананьїв – Ізмаїл.

Ці магістралі є джерелами підвищеної небезпеки як з погляду екології, так і можливого виникнення надзвичайної ситуації внаслідок аварій на газопроводах.

Для надійної експлуатації магістральних газопроводів і розроблення захисних заходів треба мати об'єктивну і достовірну інформацію про деформації газопроводу, а також про зсувні та ерозійні явища.

Постановка завдання. Метою дослідження є аналіз оцінки визначення напружено-деформованого стану на ділянках магістрального газопроводу Уренгой — Помари — Ужгород (УПУ) в ґрунтовому масиві. Визначення максимально допустимих значень прогинів трубопроводів дасть змогу вирішити актуальну наукову проблему моделювання точності геодезичних робіт.

Основна частина. Особливими навантаженнями і впливами на магістральні газопроводи звичайно називають ті, які виникають унаслідок селевих потоків, деформацій земної поверхні в карстових районах і районах підземних виробок, а також деформацій ґрунту, що супроводжуються зміною його структури. Такі навантаження слід визначати на підставі даних аналізу ґрунтових умов і їх можливого з'ясування в процесі будівництва й експлуатації газопроводу.

Для того щоб провадити геодезичний моніторинг, треба мати уявлення про хоча б наближений рівень та характер напружено-деформованого стану. Саме з цього можна визначити потрібну точність геодезичних досліджень та їх оптимальну технологію.

Для встановлення функціональних зв'язків між величинами деформацій та властивостями ґрунтового масиву необхідно врахувати всі навантаження і впливи на магістральний газопровід [1].

Моделювання геодезичної точності робіт залежить від визначення характеристик напружено-деформованого стану трубопроводу і ґрунтових масивів.

Моделюючи напружено-деформований стан, виходять з того, що внаслідок додаткового навантаження конструкція зміщується, при цьому її матеріал деформується і в ній виникають внутрішні сили пружної взаємодії матеріальних частинок, котрі, діючи на сусідні частинки, їх прискорюють. Цей процес поступово зупиняється через розсіяння енергії деформування в матеріалі, і настає рівновага між внутрішніми і зовнішніми силами.

Математичне моделювання охоплює ряд задач з вибору розрахункової моделі конструкції і процесів, визначення взаємодії фізичних характеристик цієї моделі і побудову алгоритму чисельного моделювання поставленого завдання.

Залежно від механізму і типу процесу обирають моделі поведінки досліджуваного об'єкта.

Механічні ушкодження є значними концентраторами напружень у трубопроводах. Ступінь концентрації напружень в металі поблизу цих дефектів визначається їх геометричними розмірами (кут, тріщини, глибина і діаметр ум'ятини та ін.), їх взаємним розміщенням на поверхні труби і типом ушкоджень. Вплив механічних ушкоджень на працездатність труби залежить від концентрації напружень і деформацій [2].

Під час зсувів зростання тиску ґрунту на трубу спричинює в ній непередбачені додаткові навантаження і знижує її здатність чинити опір внутрішнім і зовнішнім навантаженням, а раптові динамічні удари по трубі, особливо перпендикулярно її осі, можуть викликати напругу, що перевищує допустимі показники за СНиП III – 42 – 80 * [3].

Для того щоб проводити геодезичний моніторинг досить ефективно, треба мати хоча б наближене уявлення про рівень і характер НДС газопроводу. Саме з цього можна визначити необхідну точність геодезичних досліджень й оптимальну технологію їх виконання.

Розрахунковою математичною моделлю газопроводу є система звичайних диференціальних рівнянь, розрахункові функції яких повинні задовольняти певним граничним умовам, які випливають з умов закріплення газопроводу.

Використання досить простої і в той же час достатньо адекватної розрахункової моделі магістрального газопроводу дає змогу орієнтуватися в рівні його напружено-деформованого стану, що потрібно для визначення оптимальної точності геодезичного моніторингу.

Простою розрахунковою моделлю магістрального газопроводу може бути модель балки на пружній основі при згині. У такому разі НДС газопроводу можна описати як одновимірний напружено-деформований стан балки, тобто одновимірної системи, яка є прямою і збігається з поздовжньою віссю газопроводу.

Вплив ґрунту, що знаходиться нижче від газопроводу, визначають за гіпотезою Вінклера – Фусса (рис. 1).

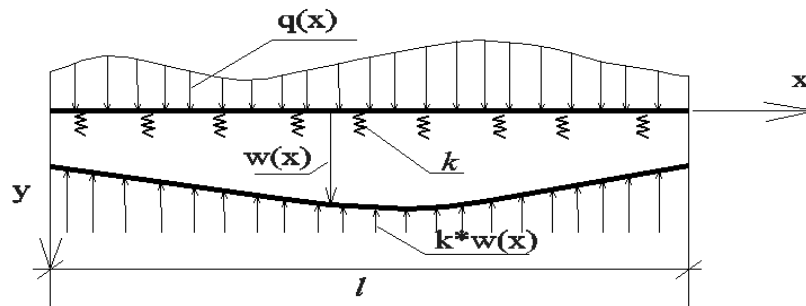


Рис.1. Розрахункова модель магістрального газопроводу: $q(x)$ – зовнішнє навантаження; k – коефіцієнт постелі ґрунту; l – розрахункова довжина ділянки газопроводу; h – шар ґрунту; w – прогин газопроводу

Стан балки на пружній основі можна описати системою диференціальних рівнянь, у яких беруть до уваги кінематичні фактори:

- вертикальне переміщення $w(x)$;
- горизонтальне переміщення $U(x)$ (у разі зсуву);
- кути повороту перерізів $\varphi(x)$;
- нормальна сила $N(x)$;
- перерізуюча сила $Q(x)$;
- згинальний момент $M(x)$.

Розрахункові функції в кінцевих точках розрахункової моделі $x = 0$ і $x = 1$ повинні бути заданими (граничні умови):

- $U = 0, w = 0, \varphi = 0$ - якщо кінець жорстко затиснений;
- $U = 0, w = 0, M = 0$ - якщо є шарнірне обпирання;
- $N = 0, Q = 0, M = 0$ - якщо кінець не закріплений.

Така система диференціальних рівнянь має вигляд:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dU}{dx} = \frac{N}{EF} \\ \frac{dw}{dx} = \varphi \\ \frac{d\varphi}{dx} = -\frac{M}{EI_x} \\ \frac{dN}{dx} = -k \cdot U - q(x) \\ \frac{dQ}{dx} = \begin{cases} -q(x) + k \cdot w(x) & (x < a) \\ -q(x) + k \cdot w(x) + k_3 \cdot w_3(x) & (x > a) \end{cases} \\ \frac{dM}{dx} = Q \end{array} \right. \quad (1)$$

Для розв’язання цієї системи рівнянь з певними граничними умовами застосовують ефективний чисельний метод С.К. Годунова, який дає можливість отримувати результати з будь-якою точністю.

Згідно з методом ортогонального прогону С.К. Годунова (метод дискретної ортогоналізації) газопровід представляється у вигляді балкової

системи, що деформується в пружному середовищі. Чисельний метод розв'язання, оснований на зведенні крайової задачі до задач Коші, забезпечує чисельну стійкість обчислювального процесу завдяки ортогоналізації [4].

У результаті розв'язання цієї системи рівнянь відповідно до конкретних граничних умов одержуємо різні величини dU , dw , $d\varphi$, dN , dQ , dM , що дає можливість диференційовано підходити до обґрунтування точності геодезичних робіт. Отже, через величину прогину $W(x)$ газопроводу можна визначити граничний стан конструкції, тобто гранично допустимі деформації положення газопроводу $\Delta_{w(x)}$.

Застосовуючи таку методологію, можна спрогнозувати вплив небезпечних геологічних процесів на газопровід, а також підготувати рекомендації й обґрунтувати точність виконання геодезичних робіт, тобто змоделювати точність на такому рівні, який дає змогу прогнозувати деформації конструкції і ґрунтового масиву.

Використання описаної досить простої в той же час досить адекватної математичної моделі магістрального газопроводу дає змогу орієнтуватися в рівні його напружено-деформованого стану, отже, перейти до визначення оптимальної точності геодезичного моніторингу.

Таким чином, точність геодезичних робіт під час моніторингу магістральних газопроводів залежить від повноти охоплення всіх факторів у процесі моделювання напружено-деформованого стану, зокрема і тих, які були притаманні під час будівництва.

Похибки геодезичних робіт змінюють напружено-деформований стан і мають бути враховані під час створення фізичної моделі споруди.

Отже, точність геодезичних робіт повинна бути визначена ще на стадії проектування споруди, інакше неприпустимі помилки можуть спричинити значне зниження надійності, зменшення міцності і довговічності. Спроба забезпечити належну міцність шляхом збільшення коефіцієнтів запасу з багатьох причин не дає повної гарантії якості і призводить до зростання непродуктивних витрат праці і матеріалів [5].

Зважаючи на викладене, можна запропонувати такі рекомендації з організації геодезичних спостережень за напружено-деформованим станом магістральних газопроводів в ґрунтовій основі:

1. Якщо в процесі рекогносцировки траси газопроводу будуть виявлені ділянки з рухливим ґрунтом, то на цих ділянках потрібно встановити постійні станції спостереження, розміщені поза зоною впливу переміщень ґрунту.

2. У разі значних ґрунтових зрушень перед початком детальних досліджень потрібно попередньо закріпити ряд контрольних марок у місцях прояву НДС газопроводу.

3. Для виконання спостережень за деформаціями слід створити планово-висотну локальну геодезичну мережу. Схема і точність геодезичної мережі і методика спостережень залежить від розміру досліджуваної ділянки, протяжності небезпечної в деформаційному відношенні ділянки. Для дослідження деформацій газопроводів потрібно запроектувати планову геодезичну основу, точність якої визначають залежно від напружено - деформованого стану.

Висновок. Оцінювання напружено-деформованого стану магістральних газопроводів із застосуванням методів фізичного і математичного моделювання та подальшим розв'язанням крайових задач дають змогу визначити місця максимально допустимих напружень, а також можливі характеристики деформацій кожної ділянки газопроводу. Завдяки отриманим результатам можна обґрунтовано обрати місця розташування для контрольних марок, визначити необхідну точність вимірювань й оцінити стан будівельної конструкції та споруди загалом на час спостережень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рудаченко А. В. Исследование напряженно-деформированного состояния трубопроводов / А. В. Рудаченко. - Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2011. – 136 с.
2. Бородавкин П. П. Сооружение магистральных трубопроводов. / П.П. Бородавкин, В. Л. Березин. – М.: НЕДРА, 1977. – 401 с.
3. СНиП III-42-80* Магистральные трубопроводы. - М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2012. – 224 с.
4. Годунов С. К. О численном решении краевых задач для систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений / С.К. Годунов // Успехи математических наук. – 1961. - №3. – 174 с.
5. Егоров А. И. Обоснование точности геодезических работ при строительстве и эксплуатации сооружений башенного типа на основе напряженно-деформированного состояния: дис. ... канд. техн. наук: 05.24.01 / Егоров Александр Иванович. - К., 2001 – 144 с.

REFERENCES

1. Rudachenko, A.V. (2011). *Issledovanie napryazhonno-deformirovannogo sostoyaniya truboprovoda [Investigation of the stress-strain state of the pipelines]*. Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University [in Russian].
2. Borodavkin P.P., Berezin V.L. (1977) *Souruzheniya magistlyanyh gazoprovodov [Construction of main pipelines]*. Moscow : Ministry of Regional Russia Development [in Russian]
3. SNIP III-42-80 *(2012). *Magistralnue tryboprovodu [Major Pipelines]*. Moscow: Ministry of Regional Development [in Russian].
4. Godunov S.K. (1961) *O chislennom reshenii kraevykh zadach dlya system lineynukh obyknovennykh diferencialnykh uravneniy [On the numerical solution of boundary value problems for systems of linear ordinary differential equations]*. *Russian Mathematical Surveys*,3,174 [in Russian].
5. Egorov A.I.(2001) *Obosnovanie tochnosti geodezicheskikh rabot pri stroitelstve i ekspluatatsii sooruzheniy bashennogo tipa na osnove napryazhonno-deformirovannogo sostoyaniya [Justification precision geodetic works in the construction and operation of buildings tower on the basis of the stress-strain state]*. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kiev [in Ukrainian].

**В. К. Чибиряков,
В. С. Староверов,
К. О. Никитенко,**

**ОБЩИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ НАПРЯЖЕННО-
ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАГИСТРАЛЬНЫХ
ГАЗОПРОВОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТИ
ИЗМЕРЕНИЯ**

Рассмотрены и проанализированы методы воздействия геологических процессов на магистральные газопроводы, а также общий порядок определения напряженно-деформированного состояния магистральных газопроводов в грунтовой основе. Для оценки НДС магистрального газопровода использована модель балки на упругом основании при изгибе. Решена система уравнений с определенными граничными условиями с помощью эффективного численного метода С.К. Годунова. Моделирование точности на таком уровне обеспечивает фиксацию деформаций конструкции и грунтового массива. Использована методология, которая позволяет прогнозировать влияние опасных геологических процессов на газопровод, предложены рекомендации по повышению точности выполнения геодезических работ в опасных геологических условиях.

Ключевые слова: магистральный газопровод (МГ), напряженно-деформированное состояние (НДС), прогиб газопровода.

**V.K. Chibiriakov
V.S. Staroverov
K.O. Nikitenko**

**GENERAL APPROACH TO MODELING STRESS-STRAIN STATE GAS
MAINS TO DETERMINE THE GEODETIC MEASUREMENT ACCURACY**

Reviewed and analyzed the impact of the existing methods of geological processes on the pipe, as well as the general procedure for determining the stress-strain state of the main gas pipelines in the ground-based. To assess the NDS main gas used model beams on elastic foundation under bending. We solve the system of equations with certain boundary conditions through effective numerical method S.K. Hodunova. The modeling accuracy at this level provides a record of the construction and deformation of the soil mass. Used methodology to predict the impact of hazardous geological processes in the pipeline and recommendations for improving the accuracy of geodetic measuring in difficult geological conditions was given.

Keywords: gas pipeline (MG), the stress-strain state, the deflection of the pipeline.

В. К. Чибіряков, *д-р техн. наук, професор,*
завідувач кафедри вищої математики,
А. М. Станкевич, *канд. техн. наук, професор,*
завідувач кафедри опору матеріалів,
В. С. Староверов, *канд. техн. наук,*
професор кафедри інженерної геодезії,
Г. С. Акчуріна, *асп. кафедри інженерної геодезії,*
О. А. Шорін, *асп. кафедри опору матеріалів*
Київський національний університет будівництва і архітектури

ПРО ОДНУ РОЗРАХУНКОВУ МОДЕЛЬ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙ ДАМБ І ГРЕБЕЛЬ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТОЧНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Відомо, що дамби і греблі під дією змінних навантажень можуть зазнавати деформацій, які призводять до порушення стійкості споруд, що негативно впливає на їх безаварійну роботу.

Розв'язати задачі з визначення деформацій можна геодезичними методами, шляхом геодезичного моніторингу конструкцій у реальному часі. Точність дослідження забезпечується вибором точності спостережень та оптимальним розміщенням марок.

Як відомо, переміщення споруди можна прогнозувати за допомогою методів будівельної механіки, в основу яких покладено проектні значення величин, що описують її напружено-деформований стан (НДС).

Ключові слова: *геодезичний моніторинг, деформації, напружено-деформований стан, фізична та математична моделі, плоска деформація.*

Вступ. Дамби і греблі є одними з найвідповідальніших несучих конструкцій будівельної галузі. Дослідження їх механічної поведінки в період експлуатації потребує геодезичного моніторингу цих конструкцій у реальному часі. За допомогою геодезичних методів досліджують переміщення певних точок споруди, що дає змогу визначити деформації, отже, і напруження, тобто дослідити питання несучої здатності об'єкта. Адекватність геодезичного моніторингу залежить від точності вимірів та способу розміщення маркерів по об'єму конструкції.

Сучасний стан та можливості геодезичної апаратури і приладів дають можливість виконувати виміри з досить високою точністю. Але підвищення точності призводить до необгрунтованого збільшення трудомісткості робіт і не завжди є доцільним, а нераціональне розміщення марок не гарантує адекватності досліджень. Як відомо, вибір оптимальних параметрів геодезичного моніторингу можливий за умови незалежного прогнозування хоча б порядку досліджуваних величин, (тобто переміщень) за допомогою інших методів. Адекватне прогнозування величини переміщень забезпечується оптимальним вибором точності досліджень, отже, оптимальним розміщенням марок.

Постановка завдання. Прогнозування переміщень досліджуваної споруди можна виконати за допомогою теоретичних методів, найчастіше методів будівельної механіки. В основі цих методів під час проектування споруди знаходились проектні значення величин, які описують її напружено-деформований стан (НДС). На основі отриманих даних була перевірена несуча здатність споруди. У наш час для дослідження НДС складних конструкцій розроблено потужні обчислювальні програмні комплекси, які використовують під час проектування споруд. Такі комплекси потребують високого рівня знань з будівельної механіки і не можуть бути використані фахівцями з геодезії.

Основна частина. Історія розвитку будівельної механіки як науки свідчить, що, крім універсальних обчислювальних методів, паралельно для певних класів конструкцій розробляють альтернативні методи дослідження НДС. Ці методи є значно простішими за універсальні та поєднують у собі підвищену точність разом із простотою і доступністю. Потрібно зазначити, що дамби і греблі належать до певного класу конструкцій, так само як і конструкції набережних, а також стінки, які втримують маси ґрунту від сповзання. Усі ці споруди вважають конструкціями одного класу, який називають підпірними стінками.

У будівельній механіці для дослідження НДС будь-яких несучих конструкцій використовують так звані розрахункові моделі – ідеалізовані об'єкти, характеристики НДС яких із достатньою точністю наближаються до характеристик НДС реального об'єкта. Як відомо, побудова розрахункової моделі складається з двох етапів. На першому етапі обирають фізичну модель, для якої ідеалізують геометричні параметри об'єкта, його фізичні властивості, а далі обирають характеристики, якими будуть описувати НДС створюваної моделі. Визначають фізичні закони, яким ці характеристики мають задовольняти, ідеалізують зовнішні впливи та закони взаємодії з навколишнім середовищем. На другому етапі фізичну модель описують за допомогою методів математики, таким чином утворюється математична модель, яка дає можливість застосовувати теоретичні методи для прогнозування характеристик НДС. Найчастіше математичну модель формують у вигляді граничної задачі для системи диференціальних рівнянь у частинних похідних.

Найпростішою математичною моделлю є гранична задача для системи звичайних диференціальних рівнянь. Саме такі математичні моделі розроблено фахівцями з будівельної механіки під час перших наукових досліджень. Були побудовані такі ефективні моделі, як рівняння розтягу-стиску стержня, рівняння згину балки, рівняння згину балки на пружній основі та інші. Пізніше були складені рівняння, які описують НДС тонкостінних стержнів. Усі математичні моделі розв'язували, застосовуючи аналітичні методи. Для побудови моделей вводили певні гіпотези, які ґрунтувалися на фізичних експериментах.

Клас підпірних стінок не задовольняє умовам, за яких використовують згадані гіпотези, тому застосувати одновимірні розрахункові моделі, які можна описати граничними задачами для систем звичайних диференціальних рівнянь, безпосередньо неможливо. Отже, математичною моделлю для підпірних стінок є гранична задача для рівнянь просторової задачі теорії пружності, залежної від

трьох координат. Виняток становить один варіант підпірних стінок – гнучкі підпірні стінки, щодо яких можливим є застосування одновимірної математичної моделі.

Характерною особливістю дамб і гребель є їх значна протяжність і незмінність характеру поперечного перерізу та зовнішніх впливів. Незмінність у напрямку поздовжньої координати дає змогу скористатися дещо спрощеною моделлю, яка у теорії пружності називається плоскою деформацією. Рівняння задачі плоскої деформації залежать від двох просторових координат у поперечному перерізі.

Вважатимемо, що поперечний переріз дамби та греблі належить до декартової системи координат (рис. 1 а, б).

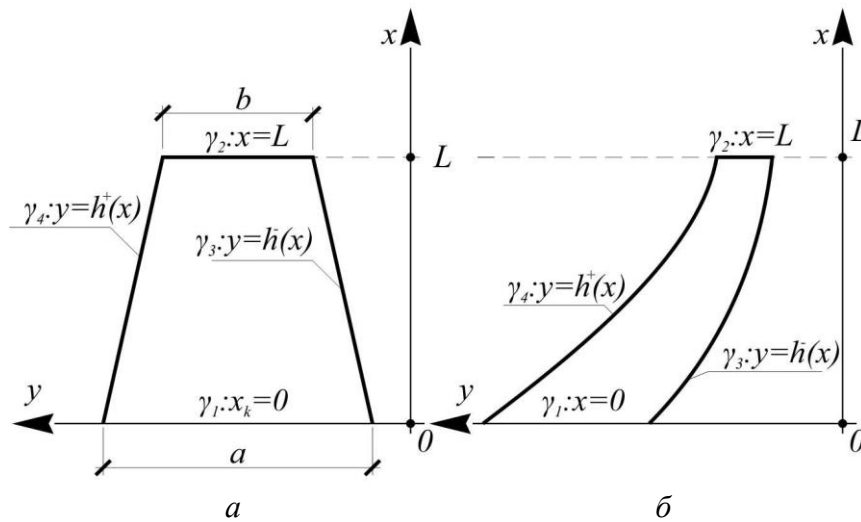


Рис. 1. Поперечний переріз: а – дамби; б – греблі

Гранична поверхня складається з чотирьох поверхонь $\Gamma = \gamma_1 \cup \gamma_2 \cup \gamma_3 \cup \gamma_4$. Рівняння плоскої задачі теорії пружності (плоска деформація) [1] запишемо у вигляді системи диференціальних рівнянь у частинних похідних першого порядку:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + X &= 0; \\ \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + Y &= 0; \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \sigma_x &= (\lambda + 2\mu) \frac{\partial u}{\partial x} + \lambda \frac{\partial v}{\partial y}; \\ \sigma_y &= \lambda \frac{\partial u}{\partial x} + (\lambda + 2\mu) \frac{\partial v}{\partial y}; \\ \tau_{xy} &= \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right). \end{aligned} \tag{2}$$

Тут $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ – компоненти тензора напружень; u, v – компоненти вектора переміщень; λ, μ – фізичні константи Ляме. Із традиційної системи рівнянь плоскої задачі теорії пружності за допомогою рівнянь узагальненого закону Гука вилучено компоненти тензора деформацій.

Невідомі функції залежать від двох просторових координат і повинні задовольняти певним граничним умовам, які разом із рівняннями (1) та (2) складають граничну задачу. Ця задача є математичною моделлю для визначення досліджуваного напружено-деформованого стану.

Граничні умови бажано записати у найбільш широкому вигляді. Для цього введемо фіктивні пружні в'язі, які зумовлюють кінематичний зв'язок з навколишнім середовищем (рис. 2).

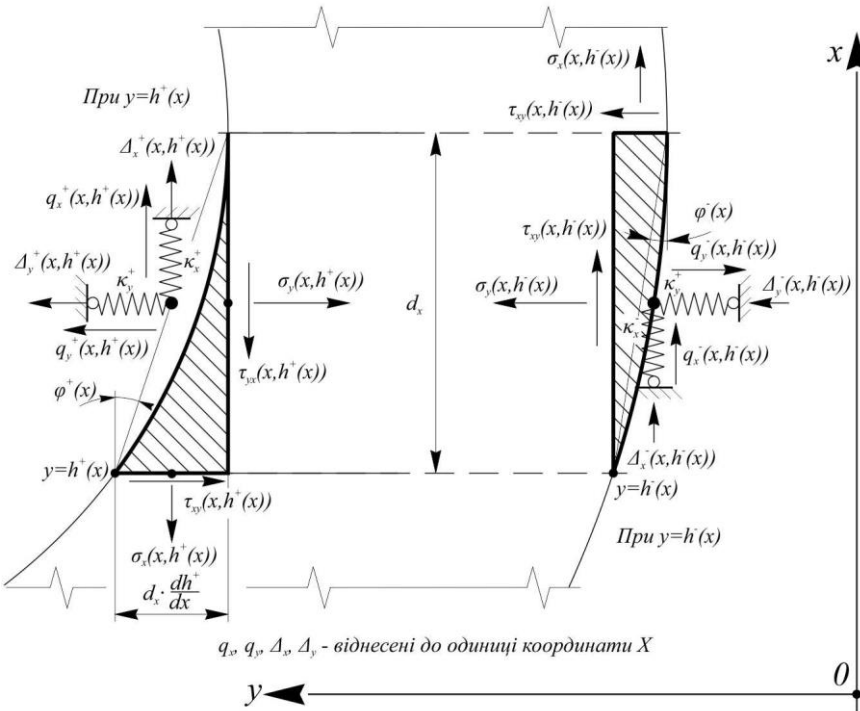


Рис. 2. Фіктивні пружні в'язі

Варіювання значеннями жорсткості k цих в'язей, як доведено в статті [2], дає можливість враховувати усі стандартні граничні умови на торцевій площині $\gamma_1: x = 0$:

$$\begin{aligned} k_{xx}^0 u(0, y) - \sigma_x(0, y) &= k_{xx}^0 \Delta_{xx}^0(y) + q_{xx}^0(y); \\ k_{xy}^0 v(0, y) - \tau_{xy}^0(0, y) &= k_{xy}^0 \Delta_{xy}^0(y) + q_{xy}^0(y); \end{aligned} \quad (3)$$

на торцевій площині $\gamma_2: x = L$:

$$\begin{aligned} k_{xx}^L u(L, y) - \sigma_x(L, y) &= k_{xx}^L \Delta_{xx}^L(y) + q_{xx}^L(y); \\ k_{xy}^L v(L, y) - \tau_{xy}^L(L, y) &= k_{xy}^L \Delta_{xy}^L(y) + q_{xy}^L(y); \end{aligned} \quad (4)$$

на боковій поверхні $\gamma_3: y = h^-(x)$:

$$\begin{aligned} \sigma_x(x, h^-(x)) \frac{dh^-(x)}{dx} + \tau_{xy}(x, h^-(x)) &= k_x^- u(x, h^-(x)) - k_x^- \Delta_x^- - q_x^-(x); \\ \sigma_y(x, h^-(x)) + \tau_{xy}(x, h^-(x)) \frac{dh^-(x)}{dx} &= k_y^- v(x, h^-(x)) - k_y^- \Delta_y^- - q_y^-(x); \end{aligned} \quad (5)$$

на боковій поверхні $\gamma_4: y = h^+(x)$:

$$\begin{aligned} \sigma_x(x, h^+(x)) \frac{dh^+(x)}{dx} + \tau_{xy}(x, h^+(x)) &= k_x^+ u(x, h^+(x)) - k_x^+ \Delta_x^+ - q_x^+(x); \\ \sigma_y(x, h^+(x)) + \tau_{xy}(x, h^+(x)) \frac{dh^+(x)}{dx} &= k_y^+ v(x, h^+(x)) - k_y^+ \Delta_y^+ - q_y^+(x). \end{aligned} \quad (6)$$

У двох останніх випадках γ_3, γ_4 задані величини (наприклад, зовнішні навантаження q_x, q_y) віднесені до вертикальної проекції площадки, на яку вони діють.

Через складний характер геометрії поперечного перерізу дамби чи греблі вихідні рівняння, які описують НДС у межах плоскої деформації, не можуть бути розв'язані аналітично. Фактично для цього і побудовано сучасні програмні комплекси.

Якби геометрія області, яку займає поперечний переріз дамби або греблі, була простою, наприклад прямокутною, можна було б застосувати розроблений математиками метод перетворення задачі плоскої деформації з двовимірної на одновимірну. У такому разі вихідні диференціальні рівняння в частинних похідних за допомогою математичних методів можна звести до системи звичайних диференціальних рівнянь. Метод такого зведення називається методом прямих. Авторами роботи [3] розроблено узагальнений варіант методу прямих, який після суттєвої модифікації можна застосувати і до складної геометрії поперечних перерізів дамб і гребель відповідно до особливостей геометрії їх поперечних перерізів.

Зауважимо, що у розгляданому випадку дві поверхні є площинами $x=0$ та $x=L$, паралельними одна до одній (торцеві площини). Дві інші поверхні (бокові поверхні) $y = h^-(x)$ та $y = h^+(x)$ мають складну форму. Вважаємо, що така плоска фігура може бути побудована множиною горизонтальних відрізків для кожного значення X , причому певний відрізок, відповідний конкретному x_0 , має довжину, залежну від X , а також окрему середину з координатами $\frac{h^+ + h^-}{2}$.

Оскільки в традиційному варіанті методу прямих поперечний переріз є прямокутним, то відрізки, перпендикулярні осі OX , мають однакову довжину і їх середини лежать на одній прямій, яка є віссю симетрії прямокутника. Це дає змогу в класичному варіанті методу на прямокутну область наносити декілька прямих, паралельних осі OX . Зазвичай ці прямі виконують з однаковим кроком, але можна накреслити прямі також із змінним по y кроком. При цьому кожний відрізок прямокутника, що відповідає певному значенню X , ділять однаково, а головне, на однакову кількість частин. Цей принцип можна перенести і на складні плоскі фігури, які описують геометрію поперечного перерізу дамби або греблі.

Кожний горизонтальний відрізок, що відповідає конкретному значенню $x \in [0, h]$, ділимо на m рівних частин завдовжки $\frac{h^+(x) - h^-(x)}{m} = \Delta(x)$. Отримана кількість частин $(m+1)$ для кожного X утворять геометричні місця точок, що в загальному випадку є кривими лініями, рівняння яких має такий вигляд (рис. 3):

$$\varphi_i(x) = h^-(x) + \Delta(x) \cdot (i - 1). \quad (7)$$

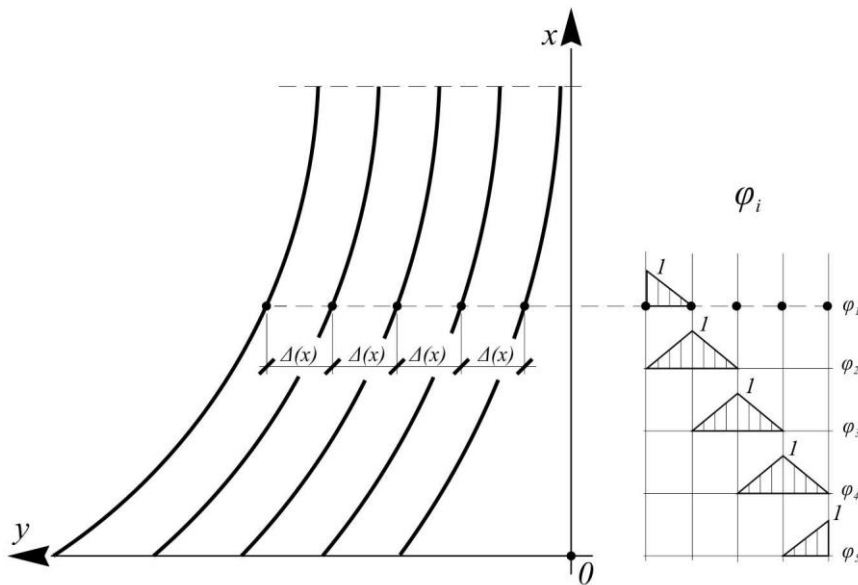


Рис. 3. Утворення геометричних місць точок

У деяких випадках, коли $h^-(x)$ та $h^+(x)$ – прямі, побудовані лінії також будуть прямими, але в загальному випадку це криві лінії. Незважаючи на це, назву методу – «метод прямих» – збережено і для такого важливого узагальнення (вживають назву в лапках).

Для перетворення вихідних рівнянь застосуємо проєкційний метод Бубнова – Гальоркіна – Петрова [4; 5]. Оскільки припускаємо зниження вимірності відносно змінної y , то за цією змінною обираємо систему базисних функцій. За такі функції беремо систему кусково-лінійних фінітних функцій (функції-кришки) (див. рис. 3):

$$\varphi_i = \begin{cases} 1, \text{ якщо } y = y_i; \\ 0, \text{ якщо } y \neq y_i. \end{cases}$$

Ці функції залежать від y та x , оскільки межі горизонтального відрізка $[h^-(x), h^+(x)]$ залежать від x . Але при кожному фіксованому x ця система функцій утворює лінійно незалежну систему, тобто є базисом.

Кожну з розрахункових функцій вихідної системи рівнянь наближено шукаємо у вигляді розкладу по цьому базису:

$$f(x, y) = f^i(x) \cdot \varphi_i(x, y) \quad (i = 1, m + 1). \quad (8)$$

Після підстановки таких наближених виразів у вихідні рівняння, кожне з рівнянь матиме праворуч замість нуля нев'язку. Згідно з методом Бубнова – Гальоркіна – Петрова цю нев'язку необхідно зробити ортогональною до деякої іншої базисної системи. Поняття ортогональності пов'язане із введенням у розгляд скалярного добутку. Для функцій, які залежать від змінної y під скалярним добутком функції $f(y)$ на $g(y)$ розуміють інтеграл відносно змінної y в межах її області визначення від добутку цих двох функцій:

$$(f(y), g(y)) = \int_{h^-(x)}^{h^+(x)} f(y) \cdot g(y) dy. \quad (9)$$

Будь-яку залежність складової цих формул від змінної X розглядають як залежність від параметра.

Визначаючи скалярний добуток, потрібно враховувати певні зауваження. Визначаючи базис, слід мати на увазі, що елементи цього базису не повністю ортогональні між собою. Якщо області, на яких вони не є нульовими, не збігаються, то їх скалярний добуток дорівнює нулю. Але скалярний добуток двох сусідніх базисних функцій не дорівнює нулю. Для косокутних базисів у тензорному численні розроблено відповідну методику оперування [2].

Базис, обраний спочатку, називають основним і позначають нижнім індексом. Закон перетворення елементів цього базису під час переходу до іншого називають коваріантним законом. Разом з основним базисом обов'язково будують взаємний базис, елементи якого визначають за формулою:

$$\varphi^i(y) : (\varphi^i(y), \varphi_j(y)) = \delta^i_j,$$

де $\delta^i_j = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i = j \\ 0, & \text{якщо } i \neq j \end{cases}$ – символ Кронекера.

Понизимо вимірність вихідних рівнянь до системи звичайних диференціальних рівнянь, використовуючи проєкційний метод, запропонований Канторовичем [6]. За цим методом перетворені рівняння отримують в результаті множення згаданих рівнянь на базисні функції та інтегрування добутку відносно y . Оскільки з-поміж усіх наведених рівнянь найпростішими є граничні рівняння на торцевих площинах (вони є алгебраїчними), то розроблена нами методика також дає систему алгебраїчних рівнянь:

при $x = 0$

$$\begin{aligned} k_{xx}^o u_i(0) - \sigma_{x,i}(0) &= k_{xx}^o \Delta_{xx,i}^o + q_{xx,i}^o, \\ k_{xy}^o v_i(0) - \tau_{xy,i}(0) &= k_{xy}^o \Delta_{xy,i}^o + q_{xy,i}^o; \end{aligned} \quad (10)$$

при $x = L$

$$\begin{aligned} k_{xx}^L u_i(L) + \sigma_{x,i}(L) &= k_{xx}^L \Delta_{xx,i}^L + q_{xx,i}^L, \\ k_{xy}^L v_i(L) + \tau_{xy,i}(L) &= k_{xy}^L \Delta_{xy,i}^L + q_{xy,i}^L. \end{aligned} \quad (11)$$

Величини, які належать до редукованих (перетворених) граничних умов і позначені індексом « i », є скалярними добутками («проєкціями») відповідних вихідних невідомих, що являють собою розв'язувальні функції вихідної математичної моделі, на базові функції $\varphi_i(x, y)$. Нижні індекси означають, що це коваріантні величини з погляду тензорного числення, або моменти відповідних величин відносно базисних функцій.

Складніші перетворення слід виконувати за пониження вимірності вихідних диференціальних рівнянь (1), (2). Розглянемо цю процедуру для першого рівняння системи (2). Помножуючи доданки цього рівняння на $\varphi_i(x, y)$ та інтегруючи відносно змінної y у межах її визначення, тобто $y \in [h^-(x), h^+(x)]$, отримуємо:

$$\sigma_{x,i} = (\lambda + 2\mu) \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_i + \lambda \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)_i. \quad (12)$$

Тут індексом « i » позначено момент величини відносно базису $\varphi_i (i = \overline{1, m})$, тобто i -й момент. Оскільки $\sigma_x(x, y)$ до цього рівняння входить алгебраїчно, то в редуковане рівняння його i -й елемент входить безпосередньо,

інші дві величини $\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_i$ та $\left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)_i$ слід шукати відносно відповідних моментів $u_i(x)$ та $v_i(x)$.

Враховуючи, що $\left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)_i = \int_{h^-(x)}^{h^+(x)} \frac{\partial v}{\partial y} \varphi_i dy$, для перетворення інтеграла

використовуємо розклад функції $v(x, y)$ по базису:

$$v(x, y) \approx v^j(x) \cdot \varphi_j(x, y). \quad (13)$$

Потрібно зазначити, що при розкладі величини по неортонормованому базису коефіцієнтами цього розкладу є контраваріантні компоненти цієї величини. Після нескладних перетворень отримуємо шуканий вираз:

$$\left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)_i = b_{ij} v^j,$$

де

$$b_{ij} = \int_{h^-(x)}^{h^+(x)} \varphi_i(x, y) \frac{\partial \varphi_j(x, y)}{\partial y} dy. \quad (14)$$

Детальніше матрицю $\{b_{ij}\}$ розглянуто в іншій роботі [2].

Для визначення величини $\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_i$ скористаємось співвідношенням:

$$\frac{\partial}{\partial x} \int_{h^-(x)}^{h^+(x)} u(x, y) \cdot \varphi_i(x, y) dy =$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{dh^+(x)}{dx} u(x, h^+(x)) \cdot \varphi_i(x, h^+(x)) - \frac{dh^-(x)}{dx} u(x, h^-(x)) \cdot \varphi_i(x, h^-(x)) + \\
 &+ \int_{h^-(x)}^{h^+(x)} \frac{\partial u(x, y)}{\partial x} \cdot \varphi_i(x, y) dy + \int_{h^-(x)}^{h^+(x)} u(x, y) \cdot \frac{\partial \varphi_i(x, y)}{\partial x} dy, \quad (15)
 \end{aligned}$$

з якого випливає таке співвідношення:

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{\partial u(x, y)}{\partial x} \right)_i &= \int_{h^-(x)}^{h^+(x)} \frac{\partial u(x, y)}{\partial x} \cdot \varphi_i(x, y) dy = \\
 &= \frac{du_i}{dx} - \frac{dh^+(x)}{dx} \cdot u^m \delta_i^m + \frac{dh^-(x)}{dx} \cdot u^1 \delta_i^1 - \frac{d\Delta(x)}{dx} d_{ij} u^j. \quad (16)
 \end{aligned}$$

Матрицю $\{d_{ij}\}$ наведено в роботі [7].

Для отримання остаточного вигляду редукованих рівнянь треба записати їх відносно невідомих одного типу, наприклад у моментах. Для цього виконаємо процедуру опускання індексів у величин, якщо ті знаходяться вгорі. З формули (14) маємо:

$$\left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)_i = b_{ij} g^{j\alpha} v_\alpha, \quad (17)$$

З виразу (16) отримуємо:

$$\begin{aligned}
 \left(\frac{\partial u(x, y)}{\partial x} \right)_i &= \frac{du_i}{dx} - \frac{d\Delta(x)}{dx} d_{ij} g^{j\alpha} u_\alpha - \frac{dh^+(x)}{dx} g^{mj} u_j \delta_i^m + \\
 &+ \frac{dh^-(x)}{dx} g^{1j} u_j \delta_i^1 \quad (18)
 \end{aligned}$$

Аналогічно для третього рівняння системи (2) маємо:

$$\tau_{xy,i} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} \right)_i + \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} \right)_i,$$

де доданки, записані праворуч, визначаються за співвідношеннями (17) та (18).

Друге рівняння системи (2) у редукованому вигляді буде зведене до алгебраїчного рівняння. Дійсно, для другого рівняння отримуємо:

$$\sigma_{y,i} = \lambda \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)_i + (\lambda + 2\mu) \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)_i. \quad (19)$$

З рівняння (12) знаходимо $\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)_i$, після підстановки маємо:

$$\sigma_{y,i} = \frac{\lambda}{\lambda + 2\mu} \sigma_{x,i} + \frac{4\mu(\lambda + \mu)}{\lambda + 2\mu} b_{ij} g^{j\alpha} v_\alpha. \quad (20)$$

При редукуванні рівнянь системи (1), які є рівняннями рівноваги, виникають певні особливості, відмінні від уже зазначених. Розглянемо процес пониження вимірності для першого рівняння, яке запишемо у такому вигляді:

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} = -\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} - X.$$

Після множення на базисні функції $\varphi_i(x, y)$ та інтегрування отримуємо:

$$\left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial x}\right)_i = -\left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}\right)_i - X_i. \quad (21)$$

Складову, яка стоїть ліворуч, визначають аналогічно виразу (18), а іншу складову з похідною по y знаходять так:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}\right)_i &= \int_{h^-(x)}^{h^+(x)} \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} \cdot \varphi_i(x, y) dy = \\ &= \left(\tau_{xy}(x, y) \cdot \varphi_i(x, y)\right) \Big|_{h^-(x)}^{h^+(x)} - \int_{h^-(x)}^{h^+(x)} \tau_{xy}(x, y) \frac{\partial \varphi_i}{\partial y} dy = \\ &= \tau_{xy}^+(x) \cdot \delta_i^m - \tau_{xy}^-(x) \cdot \delta_i^1 - b_{ji} g^{j\alpha} \tau_{xy,\alpha}(x). \end{aligned} \quad (22)$$

Тут застосовують правило інтегрування частинами для означеного інтеграла.

Аналогічно редукують друге рівняння системи (1):

$$\left(\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x}\right)_i = -\left(\frac{\partial \sigma_y}{\partial y}\right)_i - Y_i. \quad (23)$$

Після виконання всіх перетворень потрібно вилучити $\sigma_{y,i}$ з цих рівнянь, використовуючи співвідношення (20).

Остаточну всю систему редукованих рівнянь записують у вигляді системи $4 \times m$ звичайних диференціальних рівнянь першого порядку відносно нових невідомих – моментів $u_i(x), v_i(x), \sigma_{x,i}(x), \tau_{xy,i}(x)$. При формуванні розрахункових рівнянь використовують вихідні граничні умови на бокових (верхній та нижній) поверхнях, тоді як редуковані граничні умови на торцевих площинах є граничними умовами редукованих рівнянь.

Систему розрахункових рівнянь записують у стандартній формі Коші:

$$\frac{d\vec{Y}}{dx} = A(x)\vec{Y} + \vec{F}, \quad (24)$$

$$\text{де } \vec{Y}(x) = \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ \sigma_{x,i} \\ \tau_{xy,i} \end{bmatrix} - N - \text{вимірний вектор невідомих,}$$

де $N = 4 \times m$, визначений на відрізку $[0, L]$; $A(x)$ – матриця коефіцієнтів, які залежать від поздовжньої координати; $\vec{F}(x)$ – вектор правих частин.

Вектор невідомих повинен задовольняти граничним умовам:

$$\begin{aligned} \text{при } x = 0 & \quad C_o(\vec{Y}(0) - \vec{\Phi}_o) = 0, \\ \text{при } x = L & \quad C_L(\vec{Y}(L) - \vec{\Phi}_L) = 0. \end{aligned} \quad (25)$$

Граничну доточкову задачу розв'язують за ефективним чисельним методом дискретної ортогоналізації С.К. Годунова [8].

Висновок. Обґрунтування точності виконання геодезичних спостережень за деформаціями конструкцій є можливим завдяки використанню методів будівельної механіки, тобто шляхом складання фізичної та математичної моделей та їх розв'язання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Мусхелишвили Н.И.* Некоторые основные задачи математической теории упругости / Н. И. Мусхелишвили. – 5-е изд. – М.: Наука, 1966. – 709 с.
2. *Станкевич А.М.* До зниження вимірності граничних задач теорії пружності за методом прямих / А. М. Станкевич, В. К. Чибіряков., Л. Т. Шкельов // Містобудування та територіальне планування. – 2010. — Вип. 36. – С. 413-423.
3. *Чибіряков В.К.* Модифікований метод прямих в задачах статки та динаміки масивних конструкцій / В.К. Чибіряков, А.М. Станкевич, Д.В. Левківський, В.Ф.Мельничук // Вісник ОДАБА. - 2016. - Вип. 61. – С. 412 – 423.
4. *Михлин С.М.* Вариационные методы в математической физике / С.М. Михлин // Гос. изд-во технико-теорет. лит-ры. – М.: Наука, 1957. – 476 с.
5. *Марчук Г.И.* Введение в проекционно-сеточные методы / Г.И. Марчук, В.И. Агошков // М.: Наука. Главная редакция физико-математической лит-ры, 1981. – 416 с.
6. *Канторович Л.В.* Приближенные методы высшего анализа / Л.В. Канторович, В.И. Крылов. – М.: Гостехиздат, 1949. – 709 с.
7. *Чибіряков В.К.* Зниження вимірності рівнянь статки товстої пластини змінної товщини узагальненим методом прямих. / В.К. Чибіряков, А.М. Станкевич, А.А. Сташук // Опір матеріалів і теорія споруд. – 2012. – Вип. 85. – С. 58-67.

8. Годунов С.К. О численном решении краевых задач для систем линейных обыкновенных дифференциальных уравнений / С.К. Годунов // Успехи математических наук. – Т. 16. – 1961. – Вип.3. – С.171 – 174.

REFERENCES

1. Muskhelishvili N.I. (1966). *Nekotorye osnovnye zadachi teoryi uprugosti* [Some basic problems of the mathematical theory of elasticity] (5 th ed. rev) Moscow [in Russian].

2. Stankevych A.M., Chibiriakov V.K., Shkelyov L.T. (2010). *Do znizhennya vymirnosti granichnyh zadach teoryi pruzhnosti za metodom priamyh* [To reduce the dimension of boundary problems of elasticity theory by method of lines]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban construction and territory planning*, 36, 413-423 [in Ukrainian].

3. Chibiriakov V.K., Stankevych A.M., Levkivsky D.V. & Melnichuk V.F. (2016). *Modifikovany metod priamyh v zadachah statiki ta dinamiki masyvnyh konstruktsiy* [The modified method of lines in statics and dynamics problems of massive constructions] . *Visnyk ODABA*. 61, 412-423 [in Ukrainian].

4. Mihlin S.M. (1957). *Variyatsyonnye metody v matematicheskoy fizike* [Variational methods in mathematical physics]. Gosudarstvennoe izdatelstvo tekhniko-teoreticheskoy literatury. 476. Moscow [in Russian].

5. Marchuk G.I. & Agoshkov V.I. (1981). *Vvedeniye v proektsionno-setochnye metody* [Introduction to the projection-grid methods]. Glavnaia redaksiya fiziko-matematicheskoy literatury - Nauka. 416. Moscow [in Russian].

6. Kantarovich L.V. & Krylov V.I. (1949). *Priblizhonnye metody vysshego analiza* [Approximate methods of higher analysis]. Gostehizdat Moscow [in Russian].

7. Chibiriakov V.K., Stankevych A.M. & Stashuk A.A. (2012). *Znizhennia vymirnosti rivnian statyky товстой пластyny zminnoy товshyny uzagalnenym metodom priamyh* [Reduced dimension the statics equations thick plate of variable thickness generalized method of lines]. *Opir materialiv i teoryi sporud*. 85. 58-67. [in Ukrainian].

8. Godunov S.K. (1961). *O chislennom reshenni kraevykh zadach dlia lineynykh obyknovennykh differentsyalnykh uravneniy*. [On the numerical solution of boundary problems for systems of linear ordinary differential equations]. *Uspеhi matematicheskikh nauk* 16. 171-174. [in Russian].

В.К. Чибиряков
А.Н. Станкевич
В.С. Староверов
А.С. Акчурина
А.А. Шорин

**ПРО ОДНУ РАСЧЕТНУЮ МОДЕЛЬ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ДЕФОРМАЦИЙ ДАМБ И ПЛОТИН И ОБОСНОВАНИЯ ТОЧНОСТИ
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

Известно, что дамбы и плотины под действием переменных нагрузок подвержены появлению деформаций, которые приводят к нарушению устойчивости сооружений, что негативно влияет на их безаварийную работу.

Решение задачи по определению деформации возможно геодезическими методами путем геодезического мониторинга этих конструкций в реальном времени. Определено, что точность исследования обеспечивается выбором точности наблюдений и оптимальным размещением марок.

Как известно, перемещение сооружения можно спрогнозировать с помощью методов строительной механики, в основе которых лежат проектные значения величин, описывающие ее напряженно-деформированное состояние (НДС).

Ключевые слова: геодезический мониторинг, деформации, напряженно-деформированное состояние, физическая и математическая модели, плоская деформация.

V.K. Chibiriakov
A.M. Stankevych
V.S. Staroverov
H.S. Akchurina
A.A. Shorin

**ABOUT ONE COMPUTATIONAL MODEL FOR RESEARCH STRAIN
OF DAMS AND JUSTIFICATION ACCURACY OF GEODETIC
OBSERVATIONS**

It was determined, that the dams under the influence of variable loads are subject to the emergence of strains, that lead to the violation of their stability, which has a negative effect on their trouble-free operation.

It is known, that the solution of the problem to determine the possible deformation geodetic methods, by means of geodetic monitoring of these designs in real time. It was determined, that the accuracy of the study is provided by a choice of observational accuracy and optimal placement of brands.

As you know, moving structures can be predicted using the methods of structural mechanics, which are based on the design values of the quantities that describe its stress-strain state (SSS).

It is proposed for certain classes of structures using methods, that are simpler than universal, which are more complex. It is noted, that the dams belong to the one class, which is called the retaining walls.

It is known, that for research SSS using computational models which consist of physical and mathematical models. As a rule, the mathematical model is a boundary problem for a system of ordinary differential equations.

It is proposed for retaining walls use more simplified mathematical model, which is called plane strain in the theory of elasticity.

Created the common method of lines, which is used for complex geometry retaining walls of sections allowing for the geometry of their cross-sections.

The algorithm for this problem that is solved by the method of discrete orthogonalization S.K. Godunova.

Keywords: *geodetic monitoring, deformation, stress-strain state, physical and mathematical models, plane strain.*

Надійшла до редакції

13.09.2016

УДК 528.48

А.А. Великорусова

*студентка факультету цивільного будівництва
Університету Аристотеля в Салоніках*

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ СТВОРЕННЯ ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ ЗА ДОПОМОГОЮ ФОТОТАХЕОМЕТРА TOPCON IS-301

У роботі запропоновано методику створення тривимірної моделі за даними наземного лазерного сканування за допомогою фототахеометра Topcon IS-301. Наведено розрахунок оптимальних параметрів сканування та приклад виконаних польових та камеральних робіт. Розглянуто методику обробки стереопар у додатковому модулі Image Master Trial. Визначено точність методу створення тривимірної моделі. Розроблену методику апробовано за матеріалами сканування історичної споруди в Києві.

Ключові слова: *наземне лазерне сканування, фототахеометр, 3D-модель, обробка стереопар.*

Вступ. Тривимірне моделювання являє собою один із найбільш поширених методів побудови й дослідження спеціальних об'єктів (моделей). У ширшому розумінні моделювання – це наукова дисципліна, у якій вивчаються методи побудови й використання моделей для пізнання реального світу. Тривимірне моделювання потребує відповідних інструментів, методик і даних. Нині застосовують багато методів створення тривимірних моделей споруд. Основними з них є використання даних наземної фотограмметрії, даних наземного лазерного сканування (сканер), останнім часом набуває популярності метод створення

тривимірної моделі за допомогою фототахеометра Topcon IS-301, у якому поєднано тахеометр та сканер.

Аналіз досліджень і публікацій. Нині методику побудови фізичних макетів споруд заступають технології тривимірного моделювання [6-8]. Все частіше для підготовки реставраційних робіт використовують методи наземного лазерного сканування [5]. Застосовують методи сумісного використання фотограмметричного знімання споруд з використанням даних тривимірного лазерного сканування [6]. Набуває поширення технологія віртуальної реконструкції архітектурних споруд, яка дає змогу створювати об'ємні моделі не тільки окремих об'єктів, а й цілих архітектурних ансамблів. Комбінуючи наземне лазерне сканування (НЛС) і цифрове знімання, можна усунути недоліки кожного з цих методів і дослідити їх переваги. Саме такий підхід, що ґрунтується на поєднанні двох методів, розглянуто далі.

Постановка завдання. Метою публікації є розроблення методики створення тривимірної моделі на основі експериментальних зніманих за методом наземного лазерного сканування, використовуючи фототахеометр Topcon IS-301. Результатом дослідження є опис технології виконання сканування, а також визначення переваг, недоліків й обмежень цього методу.

Основна частина. Розглянемо методику створення тривимірної моделі за даними наземного лазерного сканування, отриманої за допомогою фототахеометра Topcon IS-301. До початку моделювання потрібно виконати розрахунок оптимальних параметрів знімання.

Під час дослідження вибрано дві станції стояння. Відстань між ними – близько 17 метрів. Станції вибирають таким чином, щоб об'єкт сканування повністю попав у поле зору камери. Максимальну відстань сканування L [3] визначають з формули:

$$L = \sqrt{S^2 + (H - h)^2}, \quad (1)$$

кут падіння променя α визначають з формули:

$$\alpha = \arctg \left(\frac{H-h}{S} \right), \quad (2)$$

де H - висота об'єкта, h - висота встановлення сканера, S – горизонтальна відстань від сканера до об'єкта.

Вважаючи, що $H = 16$ м, $h = 1,5$ м, $S = 20$ м, з формул (1; 2) визначають величини $L = 25$ м та $\alpha = 35^\circ 56' 32''$.

Після розрахунку оптимальних параметрів знімання виконують польові геодезичні роботи, що складаються зі встановлення і горизонтування приладу та орієнтувального пункту (ОРП):

1. В головному меню програми натискають «Установка ОРП». Відкривається вікно «Съемка ОРП» (рис 1).

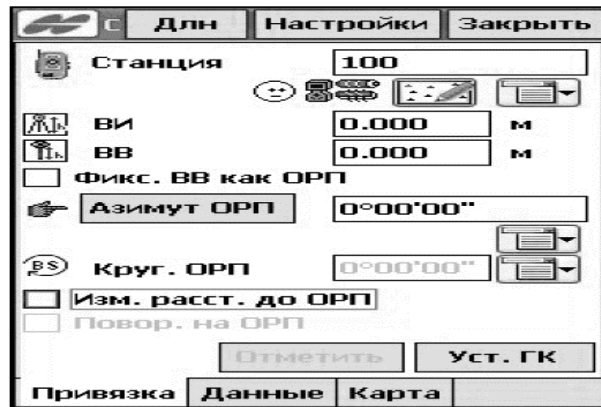


Рис 1. Зображення вікна «Съемка ОРП»

2. У вікні «Съемка ОРП» задають параметри точки оберненого орієнтування. Вибирають «Станция» (точку стояння), вводючи ім'я точки вручну (задають висоту інструмента (ВИ) та висоту відбивача (ВВ), вибирають орієнтуючий напрям).

3. Для того щоб перевірити точність встановлення ОРП, натискають кнопку «Пров. ОРП» – на екрані відображаються нев'язки, що вказують на точність вимірів.

4. Під час переходу на наступну станцію попередня за замовчуванням стає орієнтуючим пунктом. Завдяки перевазі фототахеометра координати точок виходять в заданій системі координат, тому немає необхідності в прив'язці сканів.

Наступним етапом є виконання польових фотознімальних робіт, до яких належить також вибір необхідних параметрів і режимів роботи (область, крок и режим сканування). Сканування можна виконувати двома способами.

Сканування по характерних точках: прилад самостійно знаходить характерні точки (наприклад, кути будівлі) області зображення. Такі характерні точки можуть бути відскановані автоматично або їх можна задати вручну, вказавши на екрані.

Сканування по сітці: виконують автоматичне сканування певної області з заданим кроком, в результаті якого отримують хмару точок. У дослідженні використано другий спосіб.

Послідовність дій така:

1. Створюють новий проект, після чого в головному вікні потрібно натиснути кнопку «Выделить область сканирования» на панелі інструментів праворуч, щоб задати область сканування (рис.2).

2. У вікні «Ввод имени и настройка» вводять ім'я області сканування, спосіб задання області сканування, а також вказують, чи буде використано зображення (рис. 3).

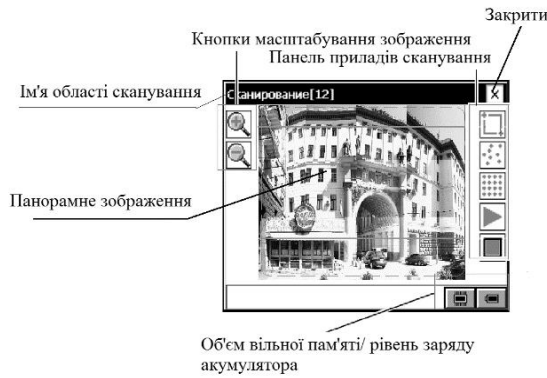


Рис. 2. Зображення головного вікна

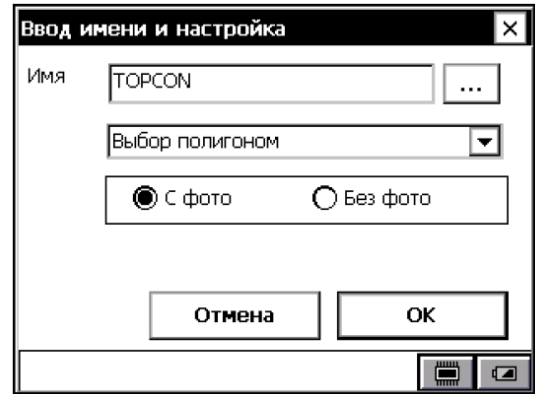


Рис. 3. Введення імені та налаштування

3. У головному вікні сканування потрібно натиснути кнопку налаштування сканування по сітці. Відкривається вікно «*Настройка шага сетки*» рис. 4).

4. У головному вікні сканування натискають кнопку «Пуск». Відкриється вікно «*Выбор сканирования*», в якому обирають спосіб сканування - по сітці (рис.5).



Рис. 4. Налаштування кроку сітки

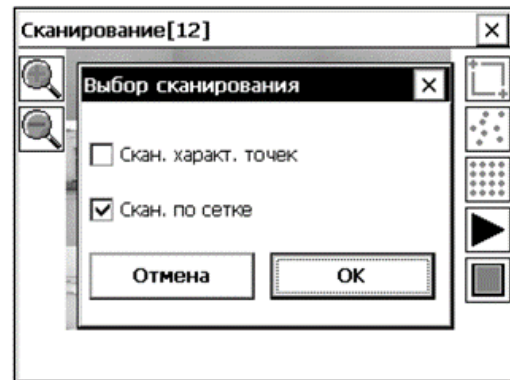


Рис. 5. Вибір способу сканування

5. Далі треба обрати область сканування – по прямокутнику, полігону, лінії, навколо приладу та по площині. У дослідженні використано область сканування полігоном (рис 6). У такому разі на сенсорному екрані створюється полігон самостійним додаванням точок, а потім виконується сканування в межах заданої області.



Рис. 6. Вибір області сканування (полігон)

6. Під час сканування відсканованні точки відображаються білим кольором. В нижній частині екрана показано розрахунковий час завершення процесу, загальна кількість точок та кількість відсканованих точок.

Останнім етапом створення тривимірної моделі є камеральна обробка отриманих даних. Створення тривимірної моделі виконують за допомогою програмного забезпечення Image Master for IS [2].

1. Під час створення нового проекту імпортуємо два файли *TopSURV Scanning File(T)*, які містять хмару точок отриманих з двох станцій стояння (рис.7).

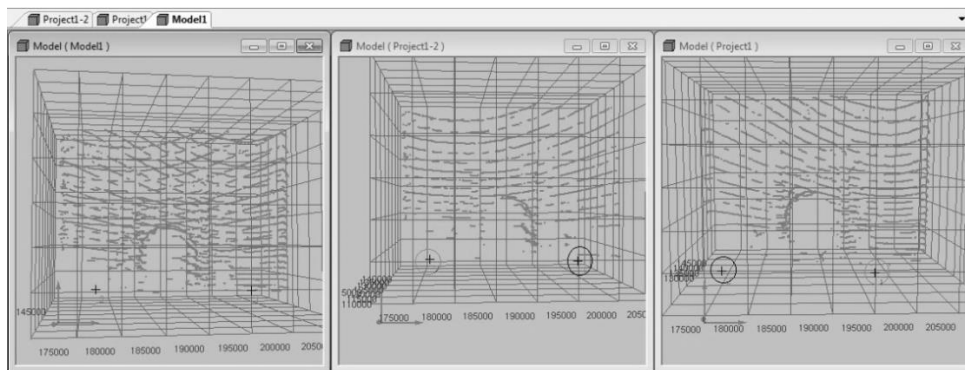


Рис. 7. Зображення хмар точок, отриманих з двох станцій стояння

2. Зшивання в одну модель відбувається в програмі автоматично по координатах точок стояння з похибкою ± 2 мм (рис. 8). Координати заданих станцій набувають значень в системі координат програми.

Coordinate List						
Category: 3D Coordinates			Coordinate System: Surveying (XYZ: NEH)			
I...	Point Name	TIN	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]	Layer Name
0	1	ON	100000.000000	200000.000000	10000.000000	Project1_0
1	2	ON	100000.000000	182064.000000	10301.000000	Project1_0
2	2	ON	100000.000000	182062.000000	10300.000000	Project1-2_0
3	1	ON	100000.000000	200000.000000	10000.000000	Project1-2_0

Рис. 8. Каталог координат точок стояння

3. Після завантаження можна виконати видалення зайвих точок. Потім, використовуючи інструмент *Create TIN*, створюють цифрову модель (рис. 9).

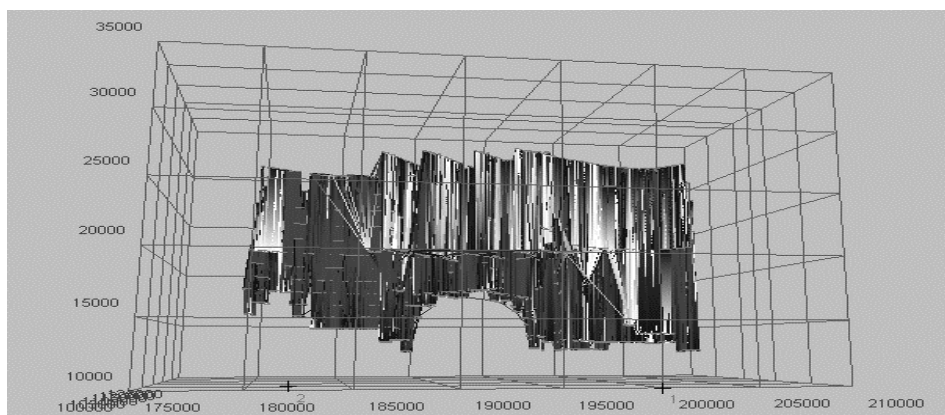


Рис. 9. Зображення TIN-моделі споруди

4. Обирають інструмент *Texture mapping* та фотознімки, зроблені під час сканування, накладають текстуру на створену модель. Таким чином отримують тривимірну модель фасаду споруди з реальним зображенням (рис.10).

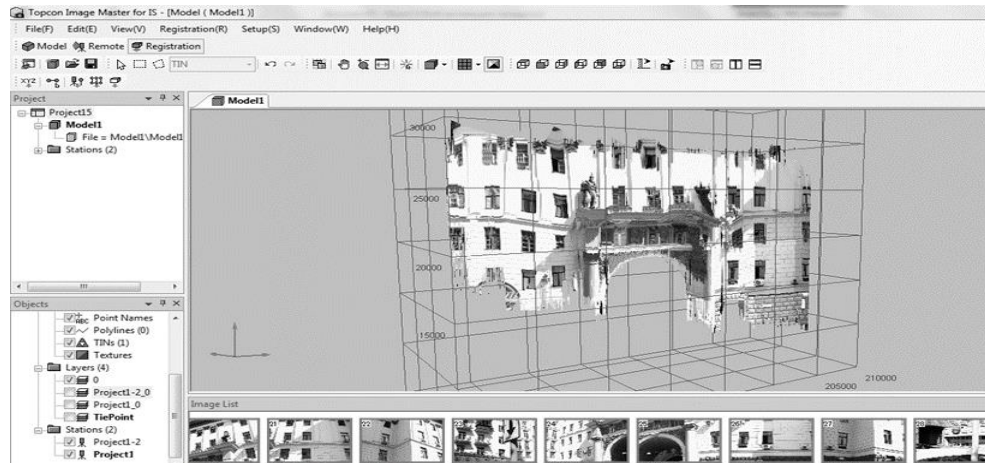


Рис. 10. Відображення тривимірної моделі об'єкта

Тривимірну модель можна подати як об'ємною, так й у вигляді двовимірного зображення (рис. 11).

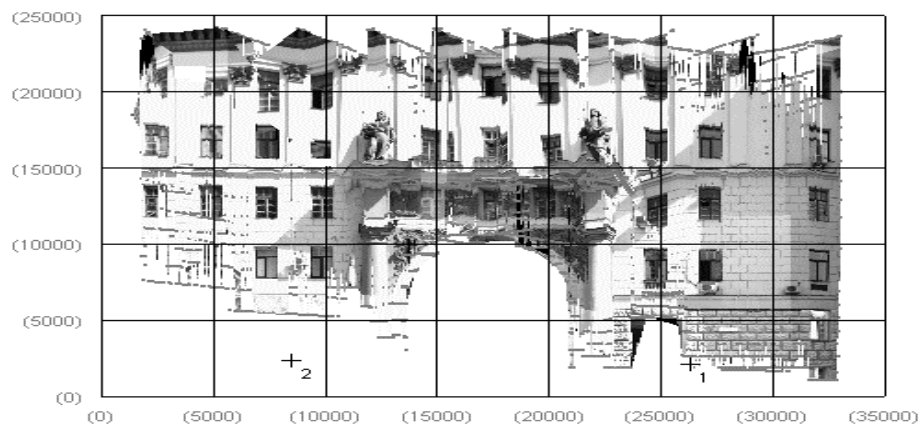


Рис. 11. Двовимірний вид подання результату

У програмному забезпеченні фототахеометра є модуль Image Master Trial для обробки стереопар. Під час сканування автоматично створюються зображення досліджуваного об'єкта. Маючи додатковий модуль Image Master Trial, який працює зі стереопарами, можна створювати окремі фрагменти тривимірних моделей.

1. Для цього завантажують фотографії у ПЗ Image Master Trial та обирають два зображення за допомогою інструменту Add Stereo Pair (T), таким чином створюється стереопара.

2. Наступним етапом є орієнтування стереопари по контурних точках. Після цього отримують таблицю з результатом орієнтування (рис. 12, а). У цій таблиці містяться також розраховані координати точок, по яких виконувалось орієнтування (рис. 12, б). Якщо орієнтування виконано правильно, можна переходити до створення тривимірної моделі.

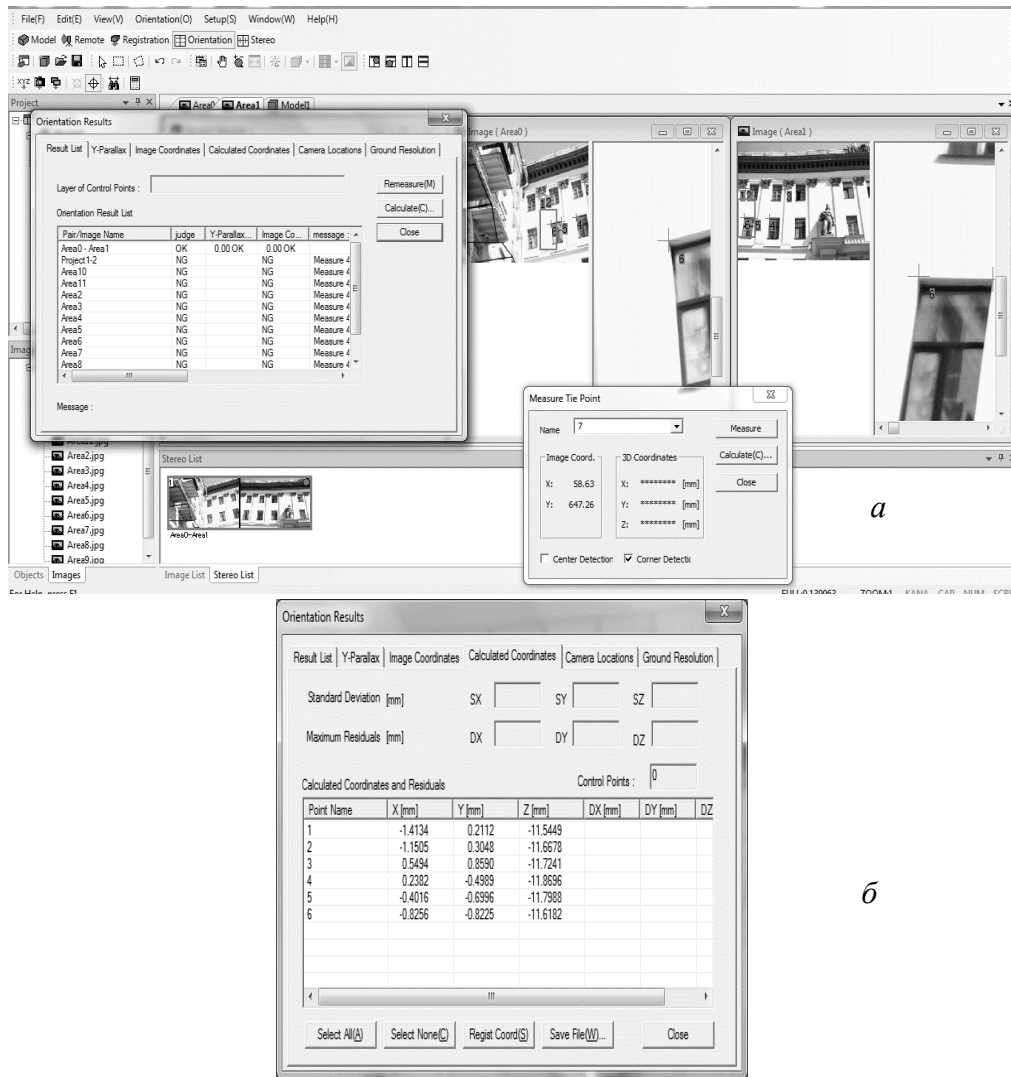


Рис. 12. Виконання (а) та результат (б) орієнтування стереопари

3. Обравши меню «Stereo» завантажують зорієнтовану стереопару. За допомогою інструменту «Polyline» виділяють потрібну деталь об’єкта. Використовуючи інструмент «Create Surface», створюють поверхню (рис.13).

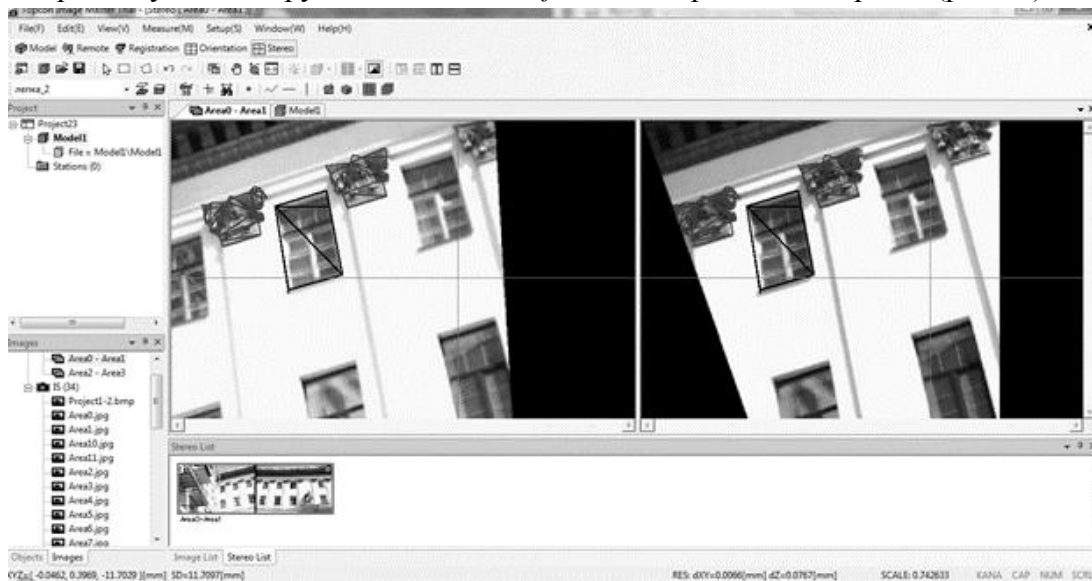


Рис. 13. Створення поверхні об’єкта

4. Кінцевий результат, представлений у вікні «Model», – тривимірна модель деталі об'єкта (рис. 14).

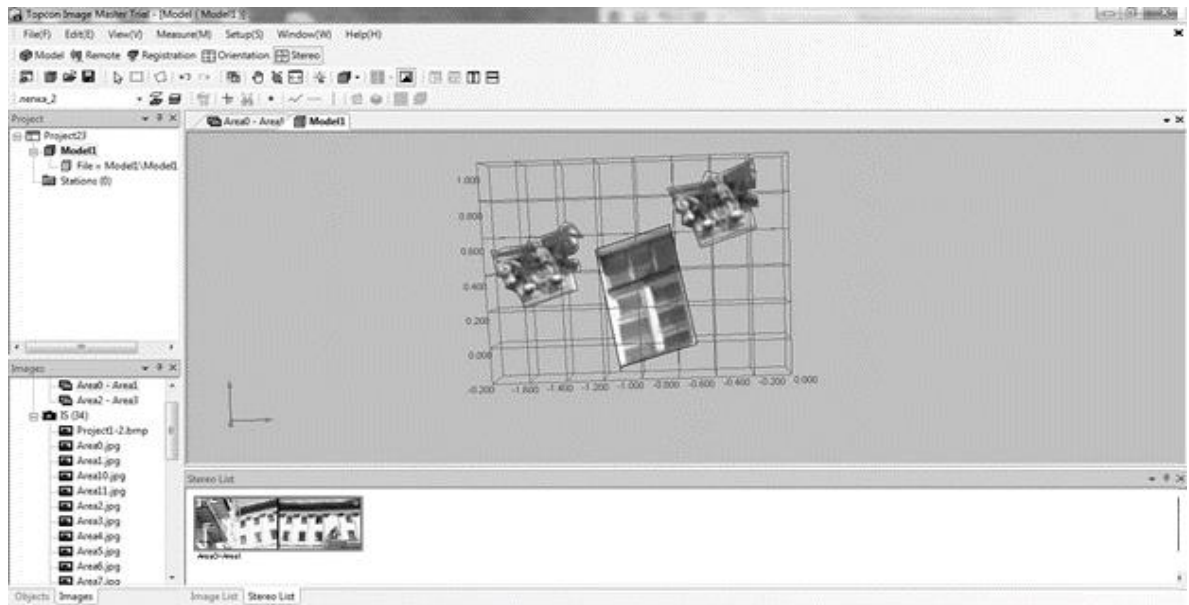


Рис. 14. Результат створення тривимірної моделі по стереопарі

Після отримання тривимірної моделі виконують розрахунок точності методу. Похибка визначення координат опорного пункту ($M_{ОПР}$) становить 4 мм. Точність сканування безпосередньо визначають за допомогою кутової та лінійної складових за формулою:

$$M_{zn} = \sqrt{x^2 + d^2}. \quad (3)$$

Кутову похибку в лінійній мірі обчислюють за формулою:

$$d = \frac{\alpha \times D}{\rho}, \quad (4)$$

де α — кутова похибка в кутовій мірі (секунди); D – виміряна відстань; $\rho = 206265$.

Згідно з формулою (4) для точності 1" d становитиме для 20 м (максимальна відстань до об'єкта) 9,7 мм. Лінійна міра точності приладу, яким виконують роботу, становить 3мм. Отримана точність сканування за формулою (3) дорівнює 9,8 мм. Ця величина показує точність визначення координат з однієї точки стояння.

Для визначення точності взаємного місцеположення точок під час знімання з різних точок стояння [4] застосовують формулу:

$$M = \sqrt{M_{опр}^2 + M_{zn}^2}. \quad (5)$$

Для максимальних значень похибок точність взаємного розміщення точок згідно з формулою (5) становить 10,6 мм.

Камеральні роботи були виконанні з точністю 2 мм. Згідно з розрахунками середня квадратична похибка методу створення тривимірної моделі становить 9,8 мм.

Висновки. Найголовнішою перевагою розглянутого методу є можливість виконувати знімання та координувати контрольні точки одним приладом. Це значно скорочує час виконання зйомки, її навантаження та не потребує матеріальних витрат на допоміжні польові геодезичні роботи.

Переваги мають також технічні характеристики фототахеометра: внутрішнє програмне забезпечення Image Station сягає дальності 2 000 метрів до об'єкта з білою поверхнею. Практично прилад досягає темних поверхонь, таких як камінь або бетон, з відстані близько 500 - 800 м; зйомку може виконувати одна людина – завдяки поєднанню польового контролера і системи RC- 4, першої у світі Quick-Lock технології третього покоління компанії TOPCON. Система знімання однією людиною за допомогою Image Station є ефективною; маючи додатковий модуль Image Master Trial, можна виконати опрацювання стереопари. Такий спосіб створення тривимірних моделей можна застосовувати як для об'єкта загалом, так і для його окремих фрагментів.

Тахеометр Topcon IS 301 має і ряд недоліків: частота сканування до 20 точок за секунду з кроком 1 метр не дає високої деталізації; середня квадратична похибка сканування перевищує регламентовану технічними характеристиками точність приладу ($9,8 > 5$ мм); під час видалення зайвих масивів хмари точок виникають «білі плями», для знешкодження яких потрібно виконувати додаткові обміри; Модуль Image Master Trial, використовуваний для опрацювання стереопар, можна придбати лише за додаткові кошти.

Але зважаючи на те, що ця технологія перебуває лише на стадії розвитку, вона вже має більше переваг над використанням лазерного сканера або фотокамери.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Topcon Image Station* [Електроний ресурс] – Режим доступу: http://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/product/3dscanner/IS_E.html. – Назва з екрана.
2. *Topcon ImageMaster Software* [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.terrageomatics.com/>. – Назва з екрана.
3. *Середович В. А.* Наземное лазерное сканирование [Текст] / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров - Новосибирск: СГГА, 2009. – 259 с.
4. *Лобанов А.Н.* Фотограмметрия: учебник для вузов [Текст]. – Т. 2 / А.Н. Лобанов. – 2-е изд. – М.: Недра, 1984. – 552 с.
5. *Гостев В.А.* Опыт трехмерного моделирования промышленных объектов Медного завода ЗФ ОАО ГМК «Норильский никель» [Текст] / В.А. Гостев, А.А. Проценко, М.В. Скребнев, Т.В. Разумова // САПР и графика. – 2003. – №5. – С.83-89.
6. *Синькова М.Г.* Фотограмметрическая съемка архитектурных сооружений с использованием данных трехмерного лазерного сканирование [Текст] / М.Г. Синькова // Геодезия и картография. – 2002. – №9. – С.29-33.
7. *Рой Д.Н.* Опыт применения метода наземного лазерного сканирования для работ в области историко-культурного наследия [Текст] / Д.Н. Рой// Геопрофи. – 2007. – № 2. – С. 20-23.
8. *Шульц Р.В.* Преимущества и недостатки различных методов шивки лазерных сканов [Текст] / Р.В.Шульц // Весник геодезии и картографии. – 2009. – №5. – С.43-46.

REFERENCES

1. Topcon Image Station. *www.topcon.co.jp*. Retrieved from http://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/product/3dscanner/IS_E.html
2. Topcon ImageMaster Software. *www.terrageomatics.com*. Retrieved from <http://www.terrageomatics.com/products/>
3. Seredovych V.A., Komyssarov V.A., Komyssarov D.V. (2009) *Nazemnoe lazernoe skanirovanie* [Terrestrial laser scanning] Novosybirsk: SGGA [in Russian].
4. Lobanov A.N. (1984) *Fotogrammetriya: Uchebnik dlya vuzov*. [Photogrammetry: Textbook for universities]. Moskva: NEDRA [in Russian].
5. Protsenko A.A., Gostev V.M., Skrebnev M.V., Razumova T.V. (2003) Opyt trehmernogo modelirovaniya promishlenykh ob'yektov Mednogo zavoda ZF OAO "GMK Noril'skiy nikel" [The experience of three-dimensional modeling of industrial facilities of the PD of the Copper Plant OJSC "MMC Norilsk Nickel"]. *SAPR i Grafika - CAD and Graphics*, 5, 83-89 [in Russian].
6. Sin'kova M.G. (2002) Fotogrammetricheskaya syemka arhitekturnykh sooruzheniy s ispol'zovaniem dannykh trehmernogo lazernogo skanirovaniya [Photogrammetric survey of architectural structures using three-dimensional laser scanning data]. *Geodeziya i Kartografiya - Geodesy and Cartography*, 9, 29-33 [in Ukraine].
7. Roy D.N. (2007) Opyt primineniya metoda nazemnogo lazernogo skanirovaniya dlya rabot v oblasti istoriko-kulturnogo naslediya [Experience of applying the method of terrestrial laser scanning for work in the field of historical and cultural heritage]. *Geoprofi*, 2, 20-23 [in Ukraine].
8. Shul'cz R.V. (2009). Preimuschestva i nedostatki razlichnykh metodov sshivki lazernykh skanov [Advantages and disadvantages of the various cross-linking methods laser scans]. *Geodeziya i Kartografiya - Geodesy and Cartography*, 5, 43-46 [in Ukraine].

А.А.Великорусова

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ СОЗДАНИЯ ТРЕХМЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ
С ПОМОЩЬЮ ФОТОТАХЕОМЕТРА TOPCON IS 301**

В работе предложена методика создания трехмерной модели по данным наземного лазерного сканирования с использованием фототахеометра Topcon IS 301. Приведен расчет оптимальных параметров сканирования и пример выполненных полевых и камеральных работ. Рассмотрена методика обработки стереопар в дополнительном модуле Image Master Trial. Определена точность метода создания трехмерной модели. Разработанная методика апробирована по материалам сканирования исторического здания в Киеве.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, фототахеометр, 3D-модель, обработка стереопар.

A.A.Velykorusova

DEVELOPMENT METHODS CREATING THREE-DIMENSIONAL MODELS USING TOTAL STATION TOPCON IS 301

In this work, we propose the method of creating three-dimensional model based on experimental survey, by materials of terrestrial laser scanning, using total station Topcon IS 301. Three-dimensional modeling is one of the most common methods of construction and study of special objects (models). The combination of terrestrial laser scanning and digital survey will help to eliminate disadvantages of each of these methods and explore their advantages. Precisely such an approach based on the combination of two methods, will be considered in this work. The result of research is the description of technology scanning and determining advantages, disadvantages and limitations of this method. The calculation of optimal scan parameters and examples of the field and office works have been shown in work. The method of processing stereo additional modules Image Master Trial. Accuracy defined method for creating three-dimensional models. The developed method was test on the scanned materials of historic building in Kiev.

Keywords: *terrestrial laser scanning, Total Station, 3D model, creating stereo.*

Надійшла до редакції

28.09.2016

УДК 629.7.05:528.526.6

В. М. Гладілін, канд. техн. наук, професор
кафедри аерокосмічної геодезії

Національний авіаційний університет

Н. С. Шудра, ст. викл. кафедри інженерної геодезії,

П. О. Чуланов, ст. викл. кафедри інженерної геодезії

Київський національний університет будівництва і архітектури

**МОДЕЛЮВАННЯ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ТОЧОК РЕВЕРСІЇ ПІД ЧАС
ГІРОСКОПІЧНОГО ОРІЄНТУВАННЯ**

Спостереження точок реверсії осі гіромотора гіртеодоліта у горизонтальній площині дає змогу визначати напрям геодезичного меридіану. Вимірюючи коливання осі гіромотора у вертикальній площині, можна визначити широту місця встановлення гіртеодоліта.

Для підвищення точності визначення геодезичного азимута пропонується встановити модель слабкозатухаючих коливань гідромотора і визначити її параметри. Траєкторія руху осі гіромотора має вигляд еліптичного конуса. Фазова проекція траєкторії руху на площині має вигляд еліптичної спіралі, що апроксимується логарифмічною спіраллю, відношення піввісей котрої визначає полярне стиснення Землі, яке збігається з загальноземним WGS – 84 або ПЗ – 90.

Ключові слова: модель реверсії, гіртеодоліт, широта.

Постановка проблеми. У роботах [3; 4; 6-8; 10; 11] розглянуто коливання осі гіроскопа у горизонтальній площині і мало уваги приділено коливанням у вертикальній площині, які залежать від широти місця встановлення гіртеодоліта. Отже, потрібно дослідити коливання осі гіромотора у вертикальній площині для визначення широти місця встановлення гіртеодоліта.

У всіх гіртеодолітів і гіроскопічних насадок період коливань становить від трьох до дванадцяти хвилин на широті $\varphi = 60^0$ (між двома точками реверсії) і залежить від широти точки встановлення та точності попереднього орієнтування в напрямку меридіана менш як $\pm 10^0$.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботах [2; 4] наведено деякі розрахунки для визначення широти місця спостереження за допомогою гіртеодоліта. Автори робіт [2; 5; 8; 10] пропонують для зменшення часу спостережень визначати коефіцієнт демпфірування або декремент затухання коливань, а також точніше визначати попереднє орієнтування осі гіромотора гіртеодоліта.

У публікаціях [1; 3; 4; 6-8; 11] скорочення часу спостережень зводиться до зменшення кількості спостережень точок реверсії до трьох або двох, але із суттєвим зниженням точності визначення напрямку осі гіроскопа.

Постановка завдання. Сучасний рівень розвитку мікропроцесорів, в яких можна запрограмувати модель коливань гіроскопа із визначеними параметрами для кожного гіртеодоліта, дає можливість визначити напрям осі гіроскопа за однією або двома точками реверсії, що значно скоротить час спостережень на пункті і зменшить вплив суб'єктивних помилок спостерігача. Для цього зняті відліки накладають на граф перехідної кривої, яку заздалегідь визначають для кожного гіртеодоліта, визначаючи параметри моделі. Визначення вертикальної складової коливань осі гіромотора є важливим для обчислення широти місця і полярного стиснення Землі.

Основна частина. Диференціальне рівняння затухаючого коливання має такий вигляд [9]:

$$\frac{d^2 \delta}{dt^2} + 2 \frac{\varepsilon}{\tau} \cdot \frac{d\delta}{dt} + \frac{1}{\tau^2} \delta = 0, \quad (1)$$

а розв'язок рівняння (1) має вигляд:

$$\delta(t) = e^{-\frac{\varepsilon}{\tau} t} \left(c_1 \cos \frac{\sqrt{1-\varepsilon^2}}{\tau} t + c_2 \sin \frac{\sqrt{1-\varepsilon^2}}{\tau} t \right), \quad (2)$$

де c_1 і c_2 – довільні постійні. Введемо постійні A і Φ_0 , які пов'язані з c_1 і c_2 співвідношеннями: $c_1 = A \sin \Phi_0$; $c_2 = A \cos \Phi_0$, ($A > 0$, $-\pi < \Phi_0 \leq \pi$), тоді рівняння (2) набуде вигляду затухаючого коливального кільця [2]:

$$\delta(t) = A \cdot e^{-\frac{\varepsilon}{\tau} t} \sin \left(\frac{\sqrt{1-\varepsilon^2}}{\tau} t + \Phi_0 \right), \quad (3)$$

де A – початкове відхилення системи слідкування (початкова амплітуда, відлік на першу точку реверсії); $\tau = \sqrt{I/k}$ – постійна часу системи слідкування, яка

характеризує інерційність кільця; $\varepsilon = \frac{c}{2\sqrt{Ik}}$ – коефіцієнт відносного демпфірування; Φ_0 – початкова фаза; t – час спостережень; I – момент інерції гіроскопа відносно його осі обертання; k – кутова жорсткість струни кручення; c – коефіцієнт демпфірування.

За формулою (3) можна обчислити відхилення осі гіроскопа від астрономічного (геодезичного) меридіана.

Частота власних коливань гіроскопа в перехідному процесі за $0 \leq \varepsilon < 1$ буде

$$\omega_{\Pi} = \omega_0 \sqrt{1 - \varepsilon^2}, \quad (4)$$

звідси

$$\varepsilon^2 = 1 - \omega_{\Pi}^2 / \omega_0^2, \quad (5)$$

де кутова швидкість ω_0 є власною частотою коливань системи.

Спростимо вираз (3), зменшивши кількість коефіцієнтів, позначимо $\alpha = \varepsilon/\tau$ – коефіцієнт затухання коливань з розмірністю 1/хвилину;

$f = \sqrt{1 - \varepsilon^2} / \tau$ – частота коливань осі ротора навколо меридіана. Відповідно до цього вираз (3) набуде вигляду:

$$\delta(t) = A \cdot e^{-\alpha t} \sin(ft + \Phi_0). \quad (6)$$

Період незатухаючих періодичних коливань визначають за відомою формулою

$$T = \frac{2\pi}{\omega_{\Pi}} = 2\pi\tau.$$

Час, за який заспокоюється коливальна система, є часом закінчення перехідного процесу, обчислюється за формулою $t_{\Pi} \approx 3\tau/\varepsilon$.

Із теорії гіроскопа [4; 6; 10] випливає, що вісь гіроскопа здійснює коливання як у горизонтальній площині (коливання відносно площини геодезичного меридіана, рух зовнішньої рамки), так й у вертикальній площині (коливання відносно геодезичної широти φ , рух внутрішньої рамки). Якщо коливання вісі гіроскопа у горизонтальній площині відбувається відносно меридіана, коли вісь направлена на північ, то у вертикальній площині вісь виконує коливання відносно положення, яке піднято над площиною горизонту на деякий невеликий кут $\Delta\beta$. Цей кут потрібен гіроскопу для неперервного руху його зовнішньої рамки у світовому просторі слідом за площиною меридіана Землі з вертикальною складовою кутової швидкості $\varphi_{з.в.}$

Траєкторію руху маятникового гіроскопа наведено на рис. 1. Центр еліпса є асимптотичним і недосяжним для системи, тому що коливання слабкозатухаючі.

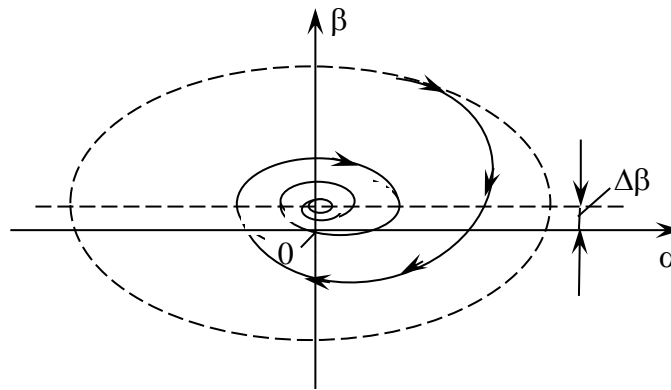


Рис. 1. Траєкторія руху осі маятникового гіроскопа, коли коливання демпфіруються

Оскільки вертикальна складова $\varphi_{з.в.}$ завжди є, то гіроскопічний момент має постійну і змінну складові, це приводить до того, що на фазовому портреті (рис. 1) траєкторія руху кінця вектора \mathbf{H} (кінетичного моменту гіроскопа) має форму еліпса і зміщена на постійну величину $\Delta\beta$, α – коливання чутливого елемента (ЧЕ) навколо меридіана, β – коливання ЧЕ навколо горизонту (геодезичної широти) місця. Наявність демпфірування і тертя призводить до затухання коливань і фазова траєкторія матиме вигляд спіралі (див. рис. 1), стійкий фокус якої з точністю до помилок гіромотора і величини кута $\Delta\beta$ асимптотично наближається до початку координат – площини меридіана і вертикалі місця і математично описується логарифмічною спіраллю такого вигляду [2]

$$\rho_i(\Psi) = \rho_0 e^{-z\Psi} \text{ (рад)}, \tag{7}$$

де: ρ_0 – радіус початкової (першої) точки реверсії; ρ_i - радіуси інших точок реверсії і точок перетину з вертикаллю місця; z – коефіцієнт зменшення радіуса; Ψ – кут повороту радіуса спіралі, $\Psi = 0^0, 90^0, 180^0, 270^0, 360^0, 540^0$ і так далі.

Якщо гіроскоп розмістити у довільній точці на поверхні Землі з довільною широтою φ (рис. 2), то вектор ω_3 представимо у вигляді двох векторів, які лежать у площині меридіана

$$\omega_{з.Г} = \omega_3 \cos \varphi; \quad \omega_{з.В} = \omega_3 \sin \varphi \tag{8}$$

і є горизонтальною і вертикальною складовими добового обертання Землі.

У разі встановлення гіроскопа на полюсі зміщення має тільки зовнішня рамка, на екваторі зміщення має тільки внутрішня рамка, при довільному встановленні гіроскопа зміщення, яке визначають проекціями складових $\omega_{з.Г}$ і $\omega_{з.В}$ будуть мати обидві рамки і вектор \mathbf{H} за добу опише еліптичний конус, в основі якого буде еліпс (див. рис. 1) з тілесним кутом при вершині, який дорівнює подвійній широті місця 2φ (рис. 2). Широта – кут між векторами $\omega_3, \omega_{з.Г}$.

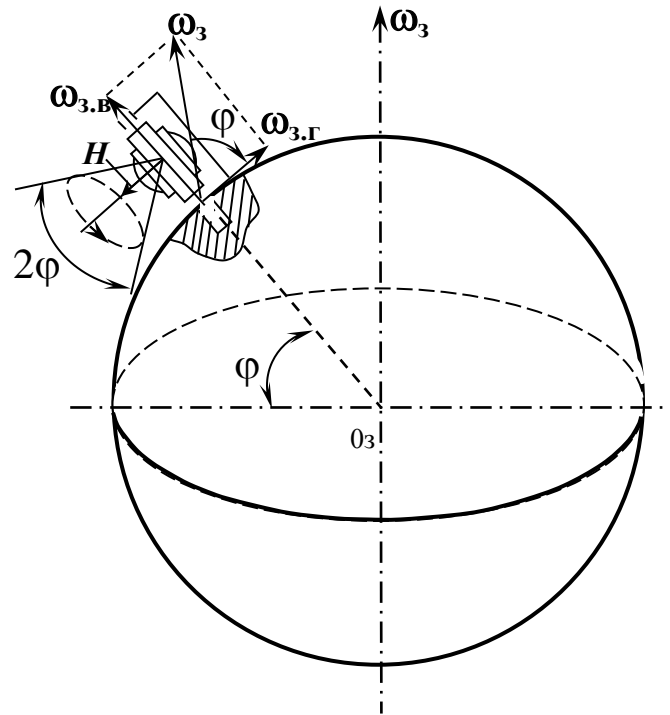


Рис. 2. Рух осі гіроскопа у довільній точці на поверхні Землі з широтою φ

Гіртеодоліт на місці встановлюють відповідно до горизонту за допомогою циліндричного рівня, тобто відносно геоїда, точність приведення осі гіромотора до вертикалі або до горизонту місця залежить від точності циліндричного рівня. З виразу (8) випливає:

$$\cos \varphi = \frac{\omega_{3.Г}}{\omega_3}; \quad \sin \varphi = \frac{\omega_{3.В}}{\omega_3}.$$

Кутова швидкість (власна частота коливань) внутрішньої і зовнішньої рамок однакова і дорівнює

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{\omega_3 G l \cos \varphi}{H}} \text{ (рад/с)}, \quad (9)$$

де ω_3 - кутова швидкість обертання землі; G – вага маятника ЧЕ; l – плече прикладання ваги; φ – геодезична широта місця; H – кінетичний момент гіроскопа. Із формули (9) період коливань визначають так:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{H}{\omega_3 G l \cos \varphi}}, \text{ (с)}; \quad \tau = \sqrt{\frac{H}{\omega_3 G l \cos \varphi}}. \quad (10)$$

У сучасних гіртеодолітах період коливань знаходиться у межах від трьох до 12 хвилин залежно від широти точки спостережень.

Розглянутий рух осі гіроскопа справедливий для його безперешкодної роботи. В реальних умовах в роботі гіртеодоліта трапляються завади, які призводять до затухання коливань осі гіроскопа (демпфірування) й асиметричності коливань навколо точки рівноваги коливального процесу (див. рис. 1). Якщо відлік починати з першої точки реверсії, то $\Phi_0 = \pm 90^\circ$ – інструментальна поправка гіртеодоліта, і тоді слід визначити параметри A , α і f .

Для визначення цих параметрів після пуску гіртеодоліта *Gi-B3* № 309654 з гіроблоком № 309654 виконано спостереження десяти точок реверсії. Результати вимірювання наведено у табл. 1.

Коефіцієнти рівняння (6) визначимо за методом найменших квадратів. Розв'язавши чотири нормальних рівняння, знайдемо такі параметри: $A=0,071894475$ рад, $\alpha_{cp}=6,251113428$ рад; $\alpha=0,00004$ 1/хв.; $f=1,93$ рад/хв, $\Phi_0=0$ рад. Відповідно до цих значень вираз (6) набуде вигляду:

$$\delta_0(t) = 6,251113428 + 0,071894475 \cdot e^{-0,00004t} \sin 1,93t \text{ рад.} \quad (11)$$

Таблиця 1

Спостереження точок реверсії

Час спостережень	Півперіод коливань	Відліки по горизонтальному колу		
		точок реверсії	середніх положень	положень рівноваги ЧЕ
19 ^h 25 ^m 13 ^s		n_1	2°16'54''	
	4 ^m 56 ^s	n_2	354°02'37''	358°09'45,5''
	9 ^m 45,6 ^s	n_3	2°16'38''	358°09'37,5''
	14 ^m 29,1 ^s	n_4	354°02'52''	358°09'45,0''
	19 ^m 06,8 ^s	n_5	2°16'22''	358°09'37,0''
	23 ^m 39 ^s	n_6	354°03'07''	358°09'44,5''
	28 ^m 06 ^s	n_7	2°16'06''	358°09'36,5''
	32 ^m 28 ^s	n_8	354°03'23''	358°09'44,5''
	36 ^m 45,2 ^s	n_9	2°15'50''	358°09'36,5''
	40 ^m 57,7 ^s	n_{10}	354°03'38''	358°09'44,0''

Виміряні у радіанах, а також обчислені за формулою значення (11) і різницю між ними наведено у табл. 2.

Таблиця 2

**Виміряні й обчислені за формулою (11) значення кутів відхилення
осі ротора у горизонтальній площині**

№ виміру	Час спостережень	δ_i , рад	δ_0 , рад	Δ , рад	Δ^2 , рад ²
1	2	3	4	5	6
1	0	6,3230079	6,2511134	0,0718945	0,0051688
2	4,933	6,1792267	6,2441834	-0,0649570	0,0042194
3	9,760	6,3229303	6,2501966	0,0727337	0,0052902
4	14,485	6,1792994	6,2736021	-0,0943030	0,0088930
5	19,113	6,3228528	6,1990523	0,1238005	0,0153266
6	23,650	6,1793721	6,3226570	-0,1432850	0,0205305
7	28,100	6,3227752	6,1983029	0,1244723	0,0154933
8	32,467	6,1794497	6,2388780	-0,0594280	0,0035317
9	36,753	6,3226976	6,3207298	0,0019680	0,0000039
10	40,962	6,1795224	6,2156714	-0,0361490	0,0013067
			$\Sigma =$	-0,0032530	0,0797642

Середня квадратична помилка (СКП) апроксимації значення одного кута δ , визначеного за допомогою рівняння (11), становитиме $m_\delta = 5,4''$

На рис. 3 наведено графік вимірних значень кута δ і їх апроксимуюча крива (11).

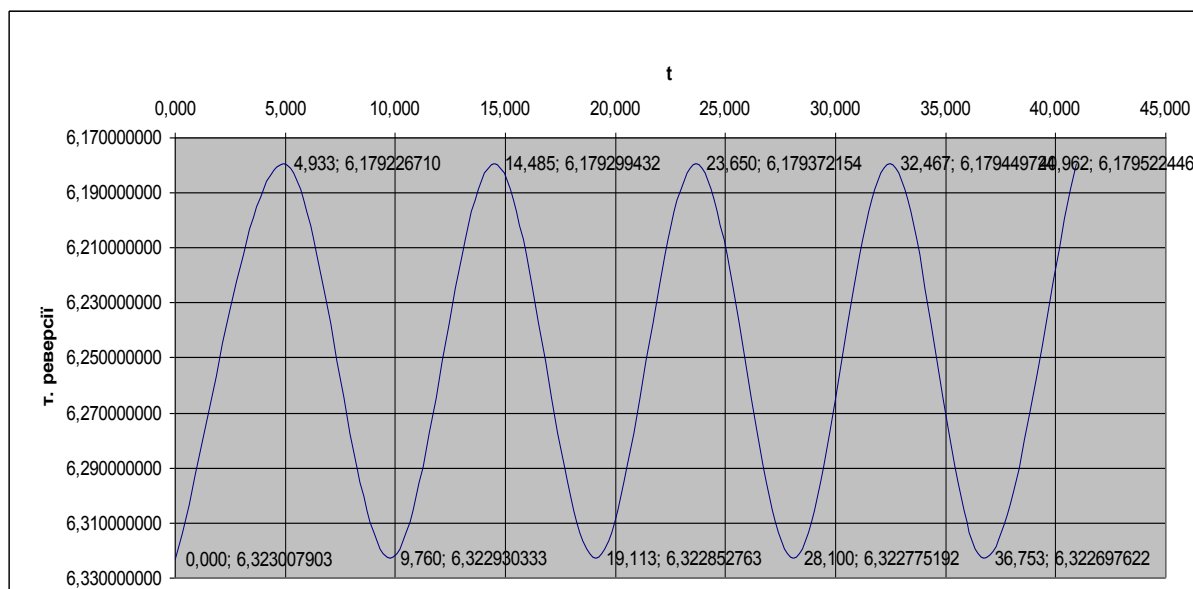


Рис. 3. Виміряні значення кутів δ і їх апроксимуюча крива

З табл. 1. видно, що положення рівноваги ЧЕ зменшується на $1'',25$, тобто відбувається систематичний зсув, який можна пояснити як безпосередню помилку у визначенні положення рівноваги ЧЕ [6].

Середнє значення положення рівноваги ЧЕ становитиме $358^{\circ}09'40",78$, а середня квадратична помилка його визначення – $M_{\delta} = 0,43''$.

За даними табл. 1 і 2 обчислимо параметри логарифмічної спіралі (7), одержимо величини: $\rho_0 = 0,0000690761$ рад, $z = -0,002137961$. Вираз (7) набуде такого вигляду:

$$\rho_i(\Psi) = 0,0000690761 \cdot e^{-0,002137961 \cdot \Psi} \quad (12)$$

Виміряні значення радіуса еліпса й обчислені радіуси у радіанах за формою логарифмічної спіралі (12) наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Виміряні значення радіусів еліпса (точок реверсії) і обчислені радіуси за формулою (12) у радіанах

Ψ°	ρ_i , виміряні	$\rho_i(\Psi)$, обчислені	$\rho_i - \rho_i(\Psi)$	$\rho_i - \rho_i(\Psi)^2$	α стиснення
0	7,75702E-05	6,90761E-05	8,4941E-06	7,22E-11	0,3352673 1/298,2695
90		6,88445E-05			
180	7,27221E-05	6,86137E-05	4,1084E-06	1,69E-11	
270		6,83837E-05			
360	6,78739E-05	6,81544E-05	-0,280E-06	0,08E-12	
450		6,79259E-05			
540	6,78739E-05	6,76982E-05	0,1758E-06	0,03E-12	
630		6,74712E-05			
720	5,81776E-05	6,72450E-05	-9,067E-06	8,22E-11	
900		6,70195E-05			
1080	6,30258E-05	6,67948E-05	-3,769E-06	1,42E-11	
1260		6,65709E-05			
1440	6,62033E-05	6,63477E-05	-0,140E-06	0,0197E-12	
1620		6,61253E-05			
1800	6,60198E-05	6,59036E-05	0,2062E-06	0,043E-12	
		$\Sigma =$	-0,272E-06	18,567E-11	

Згідно з табл. 3 обчислена різниця між виміряними й обчисленими радіусами еліпса і СКП апроксимації логарифмічною спіраллю становитиме

$$m_{\rho} = \sqrt{\frac{18,567 \cdot 10^{-11}}{5} \cdot \frac{180}{\pi} \cdot 3600} = 0,99,$$

що є внутрішньою збіжністю визначення точок реверсії.

За формулою

$$\alpha = (\rho_i(\Psi) - \rho_{i+1}(\Psi)) / \rho_i, \quad i = 1, 3, 5, \dots, \quad (13)$$

визначимо коефіцієнт стиснення еліпса (див. рис 1), який відповідає полярному стисненню земного еліпсоїда обертання: $\alpha = 1/298,2695$ (табл. 3), що можна порівняти із стисненням загальноземного еліпсоїда у системі WGS – 84 (або ПЗ – 90).

Постійну часу системи слідкування, яка характеризує інерційність кільця τ і коефіцієнт відносного демпфірування ε , обчислимо, склавши рівняння:

$$\alpha = \varepsilon / \tau = 0,00004 \text{ 1/сек}, f = \sqrt{1 - \varepsilon^2} / \tau = 1,93 \text{ рад/сек},$$

звідки

$$\varepsilon = \frac{1}{64300}; \quad \tau = 0,51843 \text{ с.}$$

Відповідно до виразу (8) широта точки стояння гіротеодоліта визначиться так (рис. 2):

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\omega_{\text{зв}}}{\omega_{\text{зг}}}. \quad (14)$$

Висновки. Рух осі гіромотора добре апроксимується логарифмічною спіраллю (12). Одночасно за формулою (13) обчислюють полярне стиснення Землі, яке залежить від форми геоїда у місці спостереження. Можна розв'язати й обернену задачу за цими спостереженнями, визначити широту місця встановлення гіротеодоліта за формулою (14). Для приведення широти на поверхню еліпсоїда, треба ввести поправку за відхилення вискової лінії у площині меридіана за відомою формулою

$$\xi = (\varphi - B) - 0,171H \sin 2B,$$

де H – висота точки фізичної поверхні Землі (точки встановлення гіротеодоліта) над опорним еліпсоїдом.

Для визначення широти і полярного стиснення потрібно облаштувати гіротеодоліт системою спостереження за рухом осі гіромотора у вертикальній площині.

Попереднє визначення для гіротеодоліта перехідної функції, яка апроксимує рух гіромотора у чисельному вигляді (11), дасть можливість на практиці визначити напрям меридіана за однією точкою реверсії, та якщо автоматизувати систему слідування, можна виміряти будь-яку одну точку на цьому графіку і за допомогою рівняння (11) визначити напрямок меридіана, але в такому разі потрібно визначити також початкову фазу коливань Φ_0 .

За таких вимірювань точність визначення напрямку меридіана буде не гіршою за 10", а час вимірювання значно скоротиться.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Боровий В. О.* Українські гіротеодоліти та етапи їх розвитку / В. О. Боровий, В. Г. Бурачек, П. С. Дітюк-Снісаренко // Інженерна геодезія. – 2005. – № 51. – С. 33 – 45.
2. *Гладілін В. М.* Можливість визначення широти і полярного стиснення гіроскопічним теодолітом. // Вісник астрономічної школи. – 2015. – Т.11. – № 1. – С. 69 – 74.
3. *Денисюк Б. І.* До питання автоматизації процесу визначення азимута гіроскопічним теодолітом / Б.І. Денисюк, А. В. Донченко, Н. С. Шудра // Інженерна геодезія. – 2005. – № 51. – С. 77 – 85.
4. *Каргу Л.Н.* Измерительные устройства летательных аппаратов / Л.Н. Каргу. – М.: Машиностроение, 1988. – 256 с.
5. *Ковтун В.* Гирроскопическое оборудование – прошлое и настоящее / В. Ковтун и др. // Геопрофиль. – 2010. - №4 (13). – С. 34 – 40.

6. *Новая геодезическая техника и ее применение в строительстве* / под ред. В.Е. Дементьева. – М.: Высшая шк., 1982. –280 с.
7. *Репников А.В.* Гироскопические системы / А.В. Репников, Г.П. Сачков, А.И. Черноморский – М.: Машиностроение, 1983. – 319 с.
8. *Руководство по астрономо-геодезическим работам при топогеодезическом обеспечении войск Ч. 3. Гироскопическое ориентирование.* – М.: ВТУГШ СССР, 1979. – 224 с.
9. *Скурихин В.И.* Математическое моделирование / В.И. Скурихин, В.Б. Шифрин, В.В. Дубровский. – К.: Техника, 1983. – 270 с.
10. *Справочник геодезиста: в 2-х кн. Кн. 1/* под ред. В.Д. Большакова и Г.П. Левчука. – 3 –е изд. – М.: Недра, 1985. – 455 с.
11. *Торочков В.Ю.* Гиротеодолиты / В.Ю. Торочков. – М.: Недра, 1970. – 136 с.

REFERENCES

1. Borovyi V. O., Burachek V. H. & Ditiuk-Snisarenko P. S. (2005). *Ukrainiski hiroteodolity ta etapy yikh rozvytku* [Ukrainian Theodolite and stages of development]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 51, 33-45 [in Ukrainian].
2. Hladilin V. M. (2015). *Mozhlyvist vyznachennia shyroty i poliarnoho stysnennia hiroskopichnym teodolitom* The ability to determine the latitude and polar compression gyro theodolite]. *Visnyk astronomichnoi shkoly – Bulletin astronomical school* 1, 69 – 74 [in Ukrainian].
3. Denysiuk B. I., Donchenko A. V. & Shudra N. S. (2005). *Do pytannia avtomatyzatsii protsesu vyznachennia azymuta hiroskopichnym teodolitom* [On the issue of automating the process of determining azimuth gyro theodolite]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 51, 77-85 [in Ukrainian].
4. Karhu L.N. (1988) *Izmeritelnyie ustroystva letatelnyih apparatov* [Measuring devices of aircraft] – Moscow: Mashinostroenie [in Russian].
5. Kovtun V., Kheher V., Trevoho Y. & Chaplynskaia L. (2010). *Hyroskopycheskoe oborudovanye – proshloe y nastoiashchee* [Gyroscopic equipment – proshloe and present]. *Heoprofyl* – 4(13), 34 – 40 [in Ukrainian].
6. Dementeva V.E. (Eds.). (1982) *Novaia heodezycheskaia tekhnika y ee prymenenye v stroytelstve* [New geodetic technique and its application in construction]. Moscow: Vysshaya shkola [in Russian].
7. Repnykov A.V., Sachkov H.P. & Chernomorskyi A.Y. (1983). *Hiroskopicheskie sistemyi* [Gyro system]. Moscow: Mashynostroeniye [in Russian].
8. *Rukovodstvo po astronomo – heodezycheskym rabotam pry topoheodezycheskom obespechenyy voisk ch. 3. Hyroskopycheskoe oryentyrovanye* (1979) [Guide astronomical. Geodetic works at the survey support the troops part 3. gyroscopic orientation]. – М.: VTUHS SSSR/
9. Skurykhyn V.Y., Shyfryn V.B., Dubrovskiy V.V. *Matematycheskoe modelyrovanye* [Math modeling]. – К.: Tekhnika, 1983.-270 s.
10. V.D. Bolshakova & H.P. Levchuka (Eds.) (1985) *Spravochnyk heodezysta: v 2-kh knyakh. Kn. 1*[Directory surveyor]. – М.: Nedra. [in Russian].
11. Torochkov V.Yu. (1970) *Hiroteodolityi Giroteodolity*. – Moscow: Nedra [in Russian].

**В. Н. Гладилін,
Н. С. Шудра,
П.А. Чуланов**

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАБЛЮДЕНИЙ ТОЧЕК РЕВЕРСИИ ПРИ ГИРОСКОПИЧЕСКОМ ОРИЕНТИРОВАНИИ

Наблюдение точек реверсии оси гиromотора гиротеодолита в горизонтальной плоскости дает возможность определить направление геодезического меридиана. Для повышения точности определения геодезического азимута предлагается установить модель слабозатухающих колебаний гиromотора и использовать её для определения геодезического азимута. Измерение колебаний оси гиromотора в вертикальной плоскости дает возможность определить широту места установки гиротеодолита. Траектория движения оси гиromотора имеет вид эллиптического конуса. Фазовая проекция траектории движения на плоскости имеет вид эллиптической спирали, аппроксимируемой логарифмической спиралью, отношение полуосей которой определяет полярное сжатие Земли, совпадающее с общеземным WGS – 84 или ПЗ – 90.

Ключевые слова: модель точек реверсии, гиротеодолит, широта.

**V. N. Gladilin,
N. S. Shudra,
P.A. Chulanov**

MODELLING OBSERVATION OF REVERSION POINTS DURING GYROSCOPIC ORIENTATION

Measuring of oscillation of axis of gyro motor of gyrotheodolite in a horizontal plane gives an opportunity to define direction of geodesic meridian. For the increase of exactness of determination of geodesic azimuth it is suggested to set analytical dependence of the damped vibrations of gyro motor and counting out of the observant system to impose on this chart. For reduction of time of measuring it is necessary to program the model of oscillations of gyroscope, define her parameters and use them for determination of geodesic azimuth. Measuring of oscillations of axis of gyro motor of gyrotheodolite in a vertical plane gives an opportunity to define the breadth of place of setting of gyrotheodolite. The phase trajectory of the movement axis of the machine tool components and assemblies has a spiral appearance, which is well approximated by a logarithmic spiral, the ratio of the semi axes of which allows to determine the polar flattening of the Earth in digital form coincides with the common earthly WGS–84,PZ – 90.

Keywords: the model points reverse, the gyrotheodolite, the latitude.

А.М. Хайлак, аспірант

Київський національний університет будівництва і архітектури

ЗАСТОСУВАННЯ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЗОН РІВНОМІРНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ПРОТИЗСУВНИХ СПОРУД

У роботі наведено результати експериментальних досліджень горизонтальних переміщень протизсувних споруд. На прикладі результатів геодезичного моніторингу за переміщеннями протизсувної споруди досліджено ефективність застосування кластерного аналізу для визначення зон рівномірних переміщень. Викладено основи кластерного аналізу та алгоритм кластеризації. Наведено основні, найбільш ефективні методи кластеризації. Досліджено різні методи кластеризації за матеріалами геодезичного моніторингу підпірної стінки у м. Києві. В рамках кожного методу перевірено ефективність застосування різних методів визначення відстаней або мір схожості об'єктів. Для якісного аналізу до кожного з критеріїв в межах різних методів кластеризації побудовано дендрограми. В результаті аналізу для розгляданого об'єкта найбільш ефективними методами кластеризації визначено метод зв'язку віддалених точок та метод центроїдного зв'язку. Виявлено, що для кожного з цих методів результати кластеризації за різними мірами схожості є практично однаковими.

Ключові слова: *зсув, кластерний аналіз, методи кластеризації, міра схожості, горизонтальні переміщення, дендрограма.*

Вступ. Під час геодезичного моніторингу за будь-якими типами споруд або об'єктами досить часто виникає потреба у визначенні зон рівномірних переміщень. Цілком зрозуміло, що для дослідження переміщень єдина модель може бути використана лише в разі рівномірного переміщення всього об'єкта. Проте саме такий випадок не є ані типовим, ані таким, що спричинює значні руйнування інженерних споруд. Загалом відомо, що саме нерівномірні переміщення є найбільш небезпечними і найбільш поширеними. При цьому нерівномірність досить рідко має лінійний характер або виявляє певну закономірність. Найчастіше характер деформаційного процесу залежить від геологічної будови основи. У такому випадку вектори переміщень елементів споруди можуть мати в різних частинах різні напрямки, відрізнитися за величиною та мати циклічний характер. За таких умов на етапі побудови моделі прогнозування переміщень важливо визначити зони, у межах яких переміщення відбуваються за одним законом і до яких може бути застосована модель прогнозування з однаковими параметрами. У спостереженнях за зсувами, які завжди мають неоднорідно будову, визначення зон рівномірних переміщень є особливо актуальним [8; 11]. Поділ поверхні зсуву на зони дає можливість визначити зону зсуву та зону найбільш інтенсивного переміщення. Під час спостережень за протизсувними спорудами завдяки такому аналізу можна виявити ділянки споруди, що потребують першочергового підсилення [3].

Аналіз досліджень та публікацій. До теперішнього часу питання визначення зон рівномірних переміщень є недостатньо дослідженим. Найчастіше у прогнозуванні переміщень інженерних споруд визначають характерні марки, або знаки, і для кожної з них незалежно будують модель прогнозування [1; 4]. Зрозуміло, що такий підхід не дає змоги скласти повноцінну картину деформаційного процесу. Інший підхід базується на використанні практичного досвіду й аналогічному поділі споруди на рівномірні блоки. Обидва підходи не мають достатнього математичного обґрунтування, хоча застосування геоінформаційних технологій [10] може певним чином спростити процес ідентифікації. Оскільки маємо справу із результатами вимірювань, то для визначення зон рівномірних переміщень доцільно застосувати статистичні методи аналізу. Найпростіший підхід, що ґрунтується на використанні елементарних параметрів (середнє значення, дисперсія), розглянуто в роботі [9]. Запропонований аналіз є фактично удосконаленим варіантом візуального аналізу. Більш досконалий метод наведено в іншій роботі [7]. За результатами досліджень нами встановлено, що цей підхід не завжди дає змогу отримати адекватні результати. Зокрема, під час практичного дослідження результатів спостереження за осіданням споруди в Києві за допомогою цього методу не вдалося визначити зони рівномірних осідань, хоча їх наявність, за результатами спостережень, є очевидною. Серед статистичних методів, які можуть бути стійкими до похибок вимірювань і дають змогу варіювати велику кількість параметрів для досягнення потрібного результату, виділяється метод кластерного аналізу [6]. Спроби застосування цього методу аналізу наведено у роботах [2; 5]. Докладно метод кластерного аналізу для аналізу переміщень не досліджувався.

Постановка завдання. Метою роботи є дослідження можливостей методу кластерного аналізу для визначення зон рівномірних переміщень під час геодезичного моніторингу.

Основна частина. Для виконання запропонованого нами дослідження наведемо опис об'єкта дослідження. Як об'єкт використаємо систему протизсувних стінок, зведених для захисту торговельного комплексу на вул. Саперно-Слобідській у Києві. Загальний вигляд системи протизсувних споруд наведено на рис. 1.

Загальна висота зсувного пагорба перевищує 30 м. Для утримання пагорба запроектовано та зведено чотири підпірних стіни (ПС-1, ПС-2, ПС-3, ПС-4). Висота підпірних стін становить від 8 до 14 м. Всі стіни мають пальові фундаменти. Глибина занурення паль – 30 м (рис. 2).

Для спостережень за переміщеннями створено просторову геодезичну мережу з п'ятьох пунктів для подвійного координування деформаційних знаків на підпірних стінах. За результатами вирівнювання пункти мережі були визначені із середніми квадратичними похибками: $m_x = 1,5$ мм, $m_y = 3$ мм, $m_z = 4$ мм. Головною вимогою було визначення переміщень у напрямку осі x з СКП 3 мм. Для інших осей точність визначення переміщень не є такою критичною і не впливає на надійність визначення стабільності підпірних стін. Вимірювання виконувались щотижня протягом шести місяців. Загальна кількість циклів спостережень дорівнює 27.



Рис. 1. Загальний вигляд системи підпірних стін

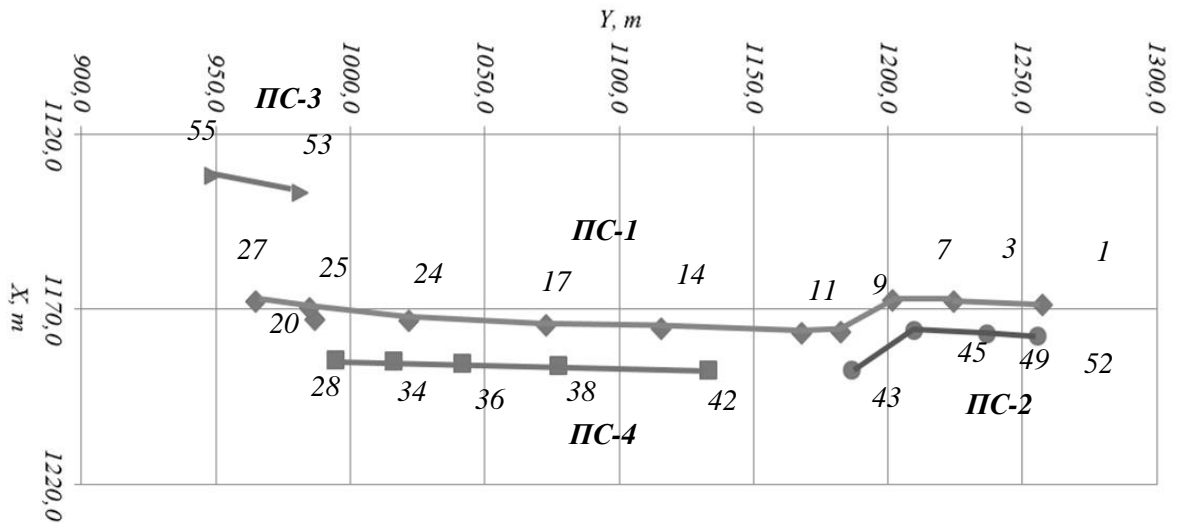


Рис. 2. Розміщення деформаційних марок на підпірних стінах

За результатами спостережень переміщення у напрямку осі X досягли 40 мм для підпірної стіни ПС-2, яка рухається окремо від інших стін. У напрямку координатних осей Y і Z максимальні переміщення не перевищували 5-8 мм. Такі переміщення є абсолютно не критичними, тому весь подальший аналіз виконаємо тільки для горизонтальних переміщень по осі X . Найбільш критичними горизонтальні переміщення є для підпірної стіни ПС-1.

На рис. 3 наведено графік переміщень марок для підпірної стіни ПС-3 після останнього циклу спостережень.

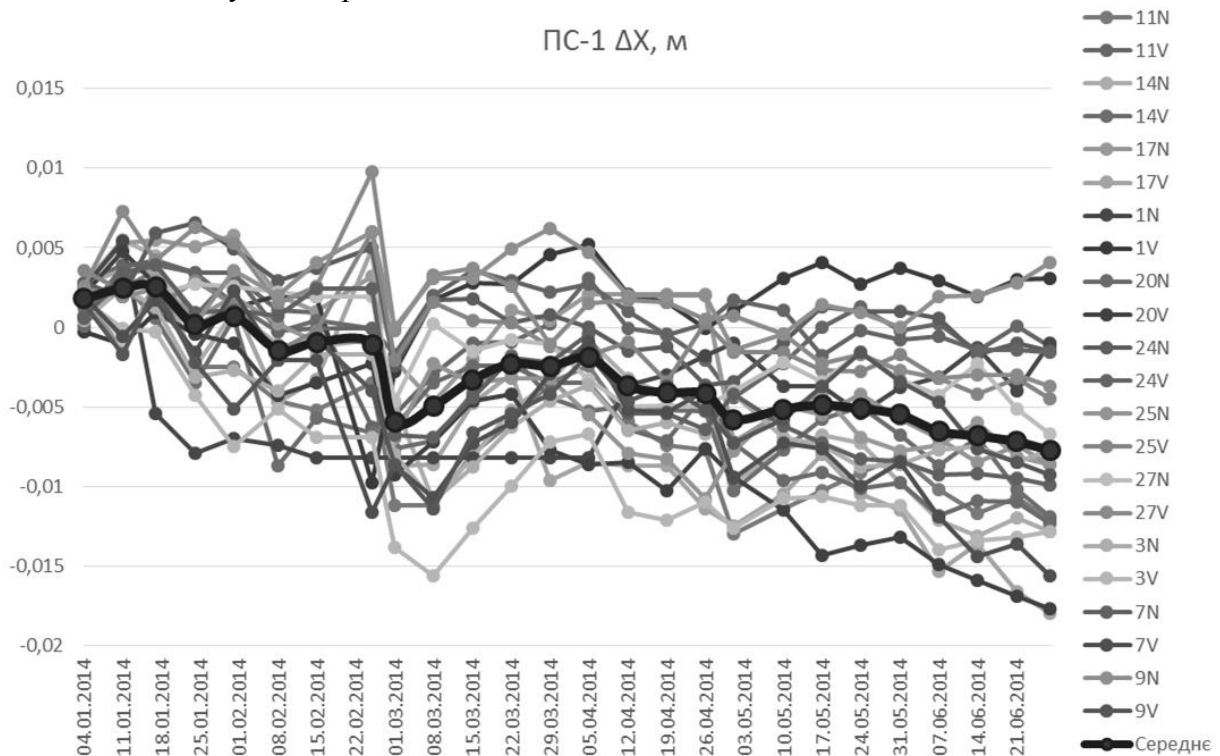


Рис. 3 Графік переміщень для підпірної стіни ПС-1 після останнього циклу спостережень

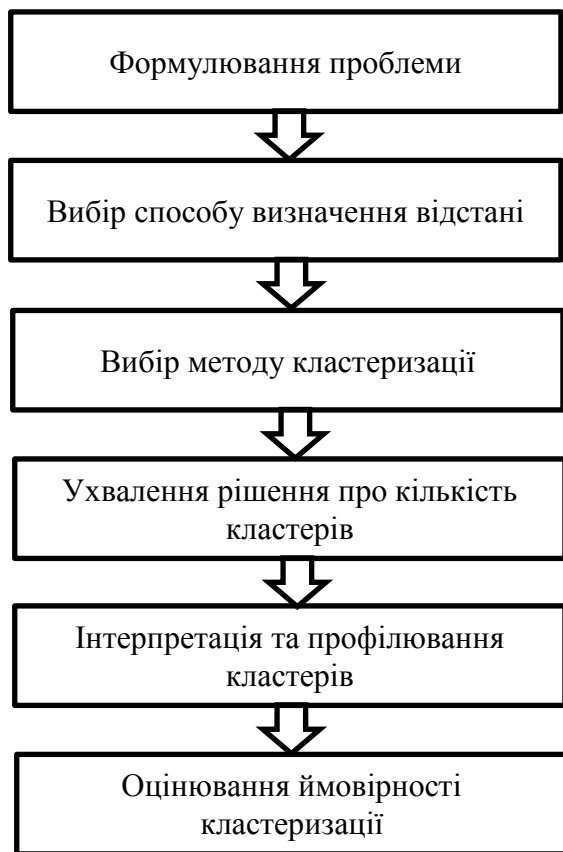


Рис. 4. Етапи кластерного аналізу

Як видно з представлених графіків, переміщення є досить нерівномірними і мають суттєво відмінні значення для різних частин підпірної стінки. Для того щоби визначити ділянки підпірної стіни, які, можливо, потребують підсилення, доцільно використати кластерний аналіз. Технологічна схема кластерного аналізу наведена на рис. 4.

Для аналізу використано результати вимірювання переміщень найдовшої підпірної стінки ПС-1. Метою нашого дослідження є оцінювання результатів кластерного аналізу в разі застосування різних методів кластеризації та мір схожості. Відомо декілька методів визначення відстаней або міри схожості об'єктів. Наведемо міри, що були використані в нашому дослідженні.

Відстань Евкліда. Евклідова відстань між двома точками – це найменша відстань між ними:

$$d(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m (X_i - Y_i)^2}.$$

Квадрат відстані Евкліда. Завдяки квадрату краще враховуються великі значення різниці. Цю міру треба використовувати для побудови кластерів за допомогою центроїдного і медіанного методів, а також методу Уорда:

$$d(X, Y) = \sum_{i=1}^m (X_i - Y_i)^2.$$

Кореляція між векторами значень (кореляція Пірсона):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^m (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{(n-1)S_X S_Y}.$$

Косинус векторів відстаней. Як і для кореляційних коефіцієнтів Пірсона, область значень цієї міри знаходиться між -1 та +1:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^m (X_i Y_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^m (X_i^2) \sum_{i=1}^m (Y_i^2)}}.$$

Відстань Чебишева. Різницею двох спостережень є абсолютне значення максимальної різниці послідовних пар змінних, відповідних цим спостереженням.

Блок. Ця дистанційна міра визначається сумою абсолютних різниць пар значень.

$$d(X, Y) = \sum_{i=1}^m |X_i - Y_i|.$$

Відстань Мінковського:

$$d(X, Y) = \left(\sum_{i=1}^m |X_i - Y_i|^r \right)^{\frac{1}{r}}.$$

Основними дослідженими методами кластеризації є такі.

- *Спосіб зв'язку за методом медіан* – метод, схожий на метод центроїдного зв'язку. Однак за методом центроїдного зв'язку центроїд нового кластера виходить як зважене середнє центроїдів обох вихідних кластерів, причому кількість спостережень вихідних кластерів утворюють ваговий коефіцієнт. У способі зв'язку за методом медіан обидва вихідних кластери беруть з однаковою вагою.

- *Метод середнього зв'язку* (між групами). Міжгруповий зв'язок означає, що дистанція між кластерами дорівнює середньому значенню дистанцій між усіма можливими парами спостережень, причому одне спостереження беруть з одного кластера, а друге – з іншого. Інформацію, потрібну для розрахунку відстані, знаходять на підставі всіх теоретично можливих пар спостережень.

- *Метод зв'язку Уорда* полягає в тому, що спочатку в обох кластерах для всіх наявних спостережень виконують розрахунок середніх значень окремих

змінних. Потім обчислюють квадрати Евклідових відстаней від окремих спостережень кожного кластера до цього кластерного середнього значення. Ці відстані підсумовують. Потім в один новий кластер об'єднують ті кластери, від об'єднання яких отримаємо найменший приріст загальної суми відстаней.

- *Метод середнього зв'язку* (всередині груп) – це метод, за яким відстань між двома кластерами розраховують на підставі всіх можливих пар спостережень, що належать обом кластерам, причому враховують так само і пари спостережень, які утворюються всередині кластерів.

- *Метод зв'язку найближчих точок* – метод, згідно з яким відстань між двома кластерами визначають як найменшу відстань між парою значень спостережень, розміщених одне до одного якнайближче, причому кожне спостереження беруть зі свого кластера (рис. 5).

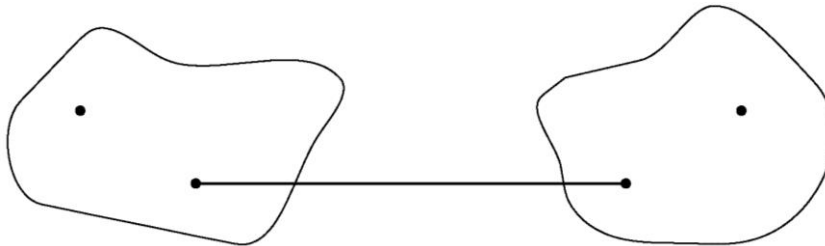


Рис. 5. Метод зв'язку найближчих точок

- *Метод зв'язку віддалених точок* – метод, за яким відстань між двома кластерами визначають як відстань між найбільш віддаленими один від одного значеннями спостережень, причому кожне спостереження беруть зі свого кластера (рис. 6).

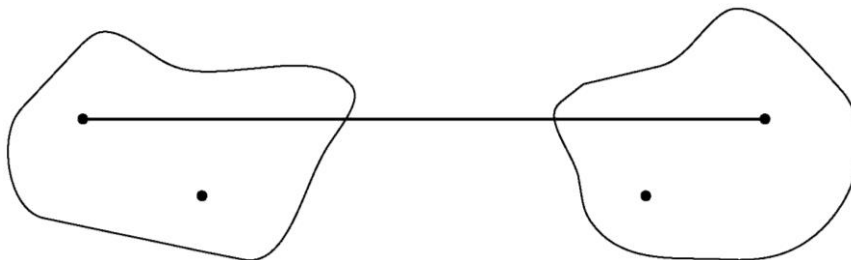


Рис. 6. Метод зв'язку віддалених точок

- *Метод центроїдного зв'язку* означає, що в обох кластерах розраховують середні значення змінних, до яких належать спостереження. Потім відстань між двома кластерами розраховують як дистанцію між двома усередненими спостереженнями (рис. 7).

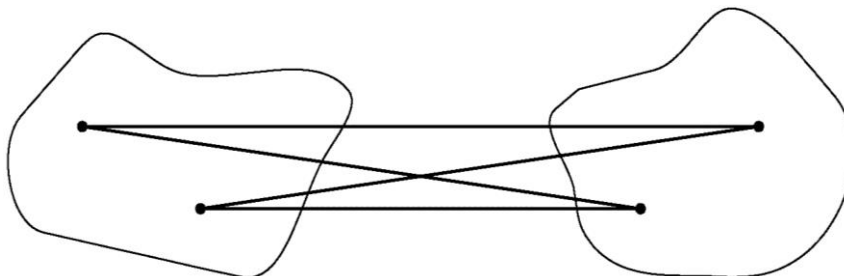


Рис. 7. Метод середнього зв'язку

Загалом виконано 49 розрахунків. Далі наводимо ті з них, які дали змогу отримати найбільш адекватні результати.

На рис. 8 і 10 наведено результати кластерного аналізу з використанням різних мір схожості. На підтвердження результатів і для наочності процесу кластеризації на рис. 9 і 11 наведено дендрограми поділу на кластери.

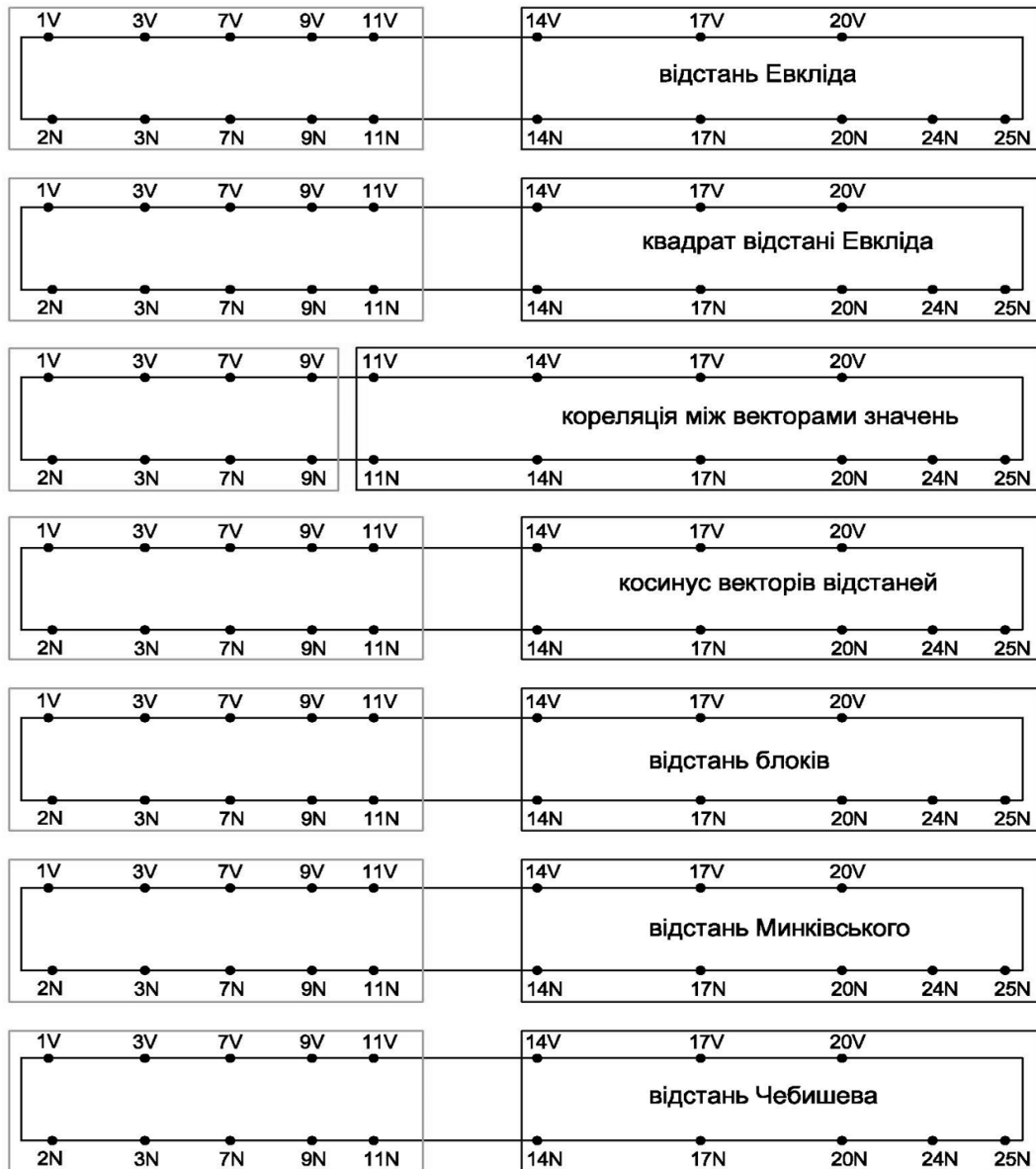


Рис. 8. Метод зв'язку віддалених точок

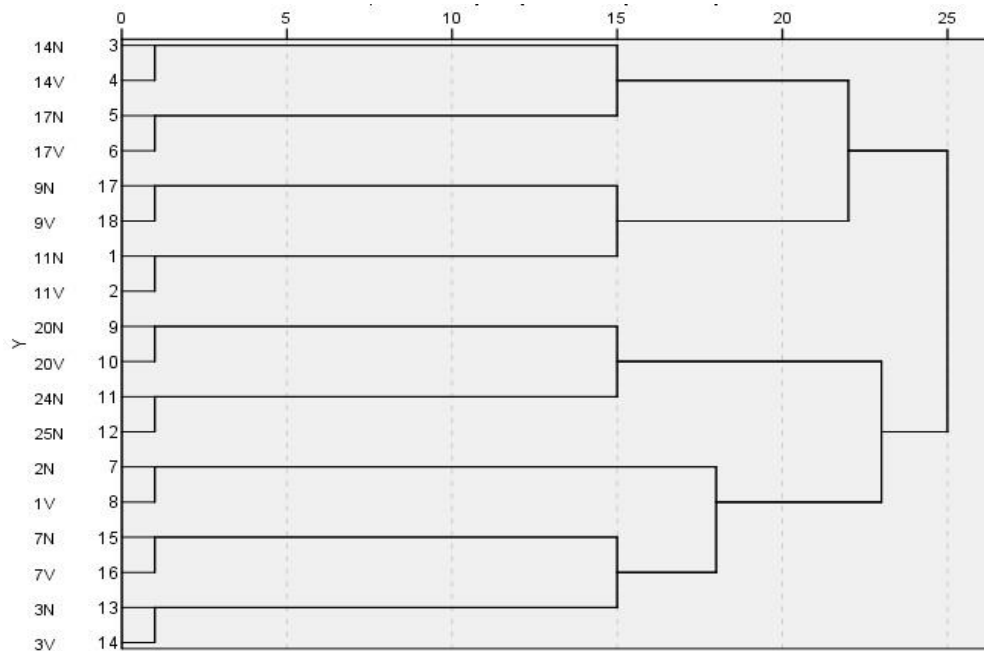


Рис. 11. Дендрограма за критерієм косинус кута між двома векторами значень

Очевидно, що найбільш якісні результати отримано для методу зв'язку віддалених точок. Завдяки кластерному аналізу виявлено два блоки, на які поділяється підпірна стіна і в межах яких переміщення є рівномірними. Для першого блока середнє значення переміщення дорівнює 2 мм, для другого – 12 мм, різниця середніх значень – 10 мм. Якщо розрахункова точність визначення переміщень становить 3 мм, то різниця середніх значень перевищує потрійне значення точності визначення переміщень 9 мм, отже, ймовірно, що окремі частини стіни переміщуються за різними законами. За результатами дослідження запропонованих методів можна сформулювати певні висновки.

Висновок. У представленій роботі за результатами експериментальних переміщень виконано дослідження методу кластерного аналізу для визначення зон рівномірних переміщень протизсувних споруд. Загалом відомо, що за великої кількості спостережуваних точок та великої кількості вимірів дуже складно визначити зони, в межах яких закон переміщень є рівномірним. Виконані дослідження засвідчили, що метод кластерного аналізу може бути успішно застосований для вирішення цієї проблеми. Досліджено такі методи кластеризації: спосіб зв'язку за методом медіан; метод середнього зв'язку; метод зв'язку Уорда; метод середнього зв'язку; метод зв'язку найближчих точок; метод зв'язку віддалених точок; метод центроїдного зв'язку. Найбільш ефективними виявились методи зв'язку віддалених точок та центроїдного зв'язку.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Григоренко А.Г. Измерение смещений оползней / А.Г. Григоренко – М.: Недра, 1988. – 144 с.
2. Идентификация движений и напряженно-деформированного состояния самоорганизующихся геодинамических систем: монография / В.А. Середович,

В.К. Панкрушин, Ю.И. Кузнецов, Б.Т. Мазуров, В.Ф. Ловягин. – Новосибирск: СГГА, 2004. – 356 с.

3. *Кузнецов А.И.* Разработка метода определения поверхности скольжения оползня по данным геодезического мониторинга [Автореферат] : дис. ... кандидата техн. наук: 05.24.01 / А.И. Кузнецов. — М., 2013. — 24 с.

4. *Левчук Г.П.* Прикладная геодезия. Основные методы и принципы инженерно-геодезических работ. / Г. П. Левчук, В. Е. Новак, В. Г. Конусов; под ред. Г. П. Левчука. – М.: Недра, 1981. – 440 с.

5. *Мазуров Б.Т.* Математическое моделирование по геодезическим данным: монографія / Б.Т. Мазуров. – Новосибирск: СГГА, 2013. – 127 с.

6. *Наследов А.* IBM SPSS Statistics 20 и AMOS: профессиональный статистический анализ данных / А. Наследов – СПб.: Питер, 2013. – 416 с.

7. *Павловская О.Г.* Анализ и оценка по геодезическим данным динамики оползней в условиях проведения взрывных работ и разгрузки склонов [Автореферат] : дис. ... кандидата техн. наук: 25.00.32 / О.Г. Павловская. — Новосибирск, 2012. — 24 с.

8. *РД 07-166-97.* Инструкция по наблюдениям за сдвигами земной поверхности и расположенными на ней объектами при строительстве в Москве подземных сооружений / Госгортехнадзор России; НТЦ «Промышленная безопасность». – 2002. – Вып. 8 Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. – Серия 07 «Нормативные документы по вопросам охраны недр и геолого-маркшейдерского контроля».

9. *Симонян В.В.* Обоснование точности и разработка методов математико-статистического анализа геодезических наблюдений за смещениями оползней [Автореферат] : дис. ... кандидата техн. наук: 25.00.32 / В.В. Симонян. — Новосибирск, 2008. — 24 с.

10. *Скнарина Н.А.* Разработка геоинформационной технологии исследования оползневых процессов [Автореферат]: дис. ... кандидата техн. наук: 25.00.32 / Н.А. Скнарина. – М., 2012. - 24 с.

11. *Тихонов А.В.* Научно-методические основы изучения глубоких оползней г. Москвы с применением высокоточных методов [Автореферат] : дис. ... кандидата геолого-минерал. наук: 25.00.32 / А.В. Тихонов. М., 2011. - 24 с.

REFERENCES

1. *Grigorenko, A.G.* Izmerenie smeshhenij opolznei [Measurement of landslides displacements]. Moscow: Nedra, 1988, 144 p.

2. *Identifikacija dvizhenij i naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija samoorganizujushhihsja geodinamicheskikh sistem* [Identification of the movements and the stress-strain state of self-organizing systems geodynamic]. V.A. Seredovich, V.K. Pankrushin, Ju.I. Kuznecov, B.T. Mazurov, V.F. Lovjagin. Novosibirsk: SGGGA, 2004, 261 p.

3. *Kuznecov, A.I.* (2013) Razrabotka metoda opredelenija poverhnosti skol'zhenija opolznja po dannym geodezicheskogo monitoringa [Development of the method for determining the sliding surface of landslide according to geodetic monitoring]. Moscow, 24 p.

4. *Levchuk, G.P. Novak, V.E. Konusov, V.G. Prikladnaja geodezija. Osnovnye metody i principy inzhenerno-geodezicheskikh rabot* [Applied Geodesy. Basic principles and methods of engineering and surveying]. Moscow: Nedra, 1981, 440 p.

5. *Mazurov, B.T. Matematicheskoe modelirovanie po geodezicheskim dannym* [Mathematical modeling for geodetic data]. Novosibirsk: SGGGA, 2013, 127 p.

6. *Nasledov, A. IBM SPSS Statistics 20 i AMOS: professional'nyj statisticheskij analiz dannyh* [IBM SPSS Statistics 20 and AMOS: professional statistical analysis]. S.Petersburg: Piter, 2013, 416 p.

7. *Pavlovskaja, O.G. (2012). Analiz i ocenka po geodezicheskim dannym dinamiki opolznejj v uslovijah provedenija vzryvnyh rabot i razgruzki sklonov* [Analysis and evaluation on geodetic data landslide dynamics in conditions of blasting and unloading slopes]. Novosibirsk, 24 p.

8. *RD 07-166-97. Instrukcija po nabljudenijam za sdvizhenijami zemnoj poverhnosti i raspolozhennymi na nej ob'ektami pri stroitel'stve v Moskve podzemnyh sooruzhenij. Gosgortehnadzor Rossii NTC «Promyshlennaja bezopasnost'»* [Instruction by observations of displacement of the earth's surface and objects placed on it during the construction of underground structures in Moscow]. Series 07 Regulations on the protection of mineral resources and geological survey control / Release 8 Security of mineral resources and geological survey control. 2002.

9. *Simonjan, V.V. (2008). Obosnovanie tochnosti i razrabotka metodov matematiko-statisticheskogo analiza geodezicheskikh nabljudenij za smeshhenijami opolznejj* [Justification of the accuracy and development of methods for mathematical and statistical analysis of geodetic observations of landslide displacements]. Novosibirsk, 24 p.

10. *Sknarina, N.A. (2012). Razrabotka geoinformacionnoj tehnologii issledovanija opolznevyh processov* [Development of geoinformation technology research of landslide processes]. Moscow, 24 p.

11. *Tihonov, A.V. (2011). Nauchno-metodicheskie osnovy izuchenija glubokih opolznejj g. Moskvy s primeneniem vysokotochnykh metodov* [Scientific and methodological foundations for the study of deep landslides in Moscow with high-precision methods]. Moscow, 24 p.

А. М. Хайлак

ПРИМЕНЕНИЕ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЗОН РАВНОМЕРНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПРОТИВООПОЛЗНЕВЫХ СООРУЖЕНИЙ

В работе приведены результаты экспериментальных исследований горизонтальных перемещений противоположных сооружений. На примере результатов геодезического мониторинга за перемещениями противоположных сооружений была исследована эффективность применения кластерного анализа для определения зон равномерных перемещений. Изложены основы кластерного анализа и алгоритмы кластеризации. Приведены основные, наиболее

эффективные методы кластеризации. Исследованы различные методы кластеризации по материалам геодезического мониторинга подпорной стенки в Киеве. В рамках каждого метода кластеризации было проверено эффективность применения различных методов определения расстояний или мер сходства объектов. Для анализа по каждому из критериев в рамках различных методов кластеризации были построены дендрограммы. В результате анализа для исследуемого объекта были определены наиболее эффективные методы кластеризации: метод связи удаленных точек и метод центроидной связи. Выявлено также, что для каждого из этих методов результаты кластеризации по разным мерам сходства являются практически одинаковыми.

Ключевые слова: оползень, кластерный анализ, методы кластеризации, мера сходства, горизонтальные перемещения, дендрограмма.

A.M. Khailak

THE USING OF CLUSTER ANALYSIS FOR IDENTIFICATION OF UNIFORM AREAS OF ANTI LANDSLIDES STRUCTURES DISPLACEMENTS

The results of experimental studies of antilandslide structures horizontal displacements were listed. As example of geodetic monitoring the antilandslide structures displacements, the effectiveness of the results of cluster analysis to determine the areas of uniform displacements was investigated. Fundamentals of cluster analysis and clustering algorithms were given. The basic and most effective clustering methods were listed. The different methods of clustering based on geodetic monitoring of a retaining wall at Kiev were researched. Within each cluster method has been tested the efficiency of various methods for determining distances or measure the similarity of objects. For the analysis for each of the criteria in the various methods of clustering dendrogram was constructed. As a result of analysis for the object, we identified the most effective clustering methods: remote method of communication points and the centroid method of communication. For each of these methods of clustering on different measures of similarity provided identical results.

Keywords: landslide, cluster analysis, clustering methods, similarity measure, horizontal displacements, dendrogram.

Н.В. Куліченко, аспірант*Київський національний університет будівництва і архітектури*

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОСТРОВИХ ОБОЛОНОК У ЗАДАЧІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ДЕФОРМАЦІЯМИ ЗА ДАНИМИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНУВАННЯ ЗА НАЯВНОСТІ СИСТЕМАТИЧНИХ ПОХИБОК

У статті розглянуто завдання з дослідження деформацій просторових оболонок інженерних споруд. Досліджено різні методи оброблення даних наземного лазерного сканування за наявності систематичних похибок. Дослідження виконано на прикладі результатів сканування просторових оболонок. Для цього класу інженерних споруд визначення деформацій за даними наземного лазерного сканування можна виконати шляхом побудови математичної моделі реальної поверхні і подальшого порівняння цієї моделі з проектною. Оцінювання параметрів реальної моделі поверхні оболонки запропоновано здійснювати за допомогою різних методів: найменших квадратів, найменших модулів, варіаційно-зважених наближень і середньої квадратичної колокації. Досліджено ефективність кожного з цих методів та з'ясовано, які з них доцільно застосовувати для оцінювання параметрів просторових оболонок.

Ключові слова: наземне лазерне сканування, просторова оболонка, метод найменших квадратів, метод найменших модулів, метод варіаційно-зважених наближень, метод середньої квадратичної колокації.

Вступ. Спостереження за деформаціями та переміщеннями просторових оболонок інженерних споруд є одним із відповідальних етапів геодезичних спостережень. Виконуючи такі спостереження, а особливо обробляючи результати спостережень, увагу слід звертати на послаблення, а по змозі і виключення впливу систематичних похибок на остаточні результати. Загальновідомо, що вплив систематичних похибок можна зменшити або завдяки застосуванню відповідної методики вимірювань або на стадії оброблення, оцінивши їх величину та виключивши їх вплив. У спостереженнях за просторовими оболонками систематичні похибки можуть призвести до загального зміщення поверхні оболонки або до її викривлення, яке не відповідатиме фактичному положенню оболонки. Останнім часом велику популярність для спостереження за оболонками набули системи наземного лазерного сканування [1-3; 5]. За даними сканування можна оцінити параметри рівняння поверхні фактичної оболонки та порівняти їх із проектними значеннями.

У разі використання наземного лазерного сканування джерелом систематичних похибок можуть бути похибки у виміряних кутах та відстанях, при цьому ці похибки можуть виникати як через недосконалість вимірювального блока наземного лазерного сканера, так і через фізичний стан поверхні відбиття [12]. Після обчислень вплив систематичних похибок трансформується у спотворення координат точок поверхні. За таких умов виключити вплив

систематичних похибок, застосувавши специфічну методику вимірювань, практично неможливо. З другого боку, величезна надлишковість даних наземного лазерного сканування дає змогу, завдяки застосуванню відповідного математичного апарату, або оцінити вплив систематичних похибок, або використати математичні методи, стабільні до впливу систематичних похибок (робасті методи). Дослідження методів, несприйнятливих до впливу систематичних похибок, є важливим й актуальним завданням і потребує окремого вивчення.

Аналіз досліджень та публікацій. Ідея використання наземного лазерного сканування для спостереження за деформаціями не є зовсім новою. Нині відомо декілька підходів до визначення величини деформацій за даними сканування. Найбільш простим є підхід, згідно з яким після сканування будують TIN-модель поверхні і порівнюють її з аналогічною моделлю з попереднього циклу [6; 10]. Такий підхід є зручним у випадку, коли поверхня нерегулярна. З другого боку, якщо досліджувана модель описується строгим математичним рівнянням, є можливість оцінити параметри математичної моделі цієї поверхні та порівняти їх із проектними параметрами, як, наприклад, у роботі [3]. Саме такий підхід розглянуто у представленій статті. Як зазначено у вступній частині, завданням роботи є дослідження методів оцінювання параметрів, нечутливих до впливу систематичних похибок. Такими методами вважаємо метод найменших модулів, метод середньої квадратичної колокації, метод найменших модулів. Всі ці методи достатньо докладно висвітлено у роботах [7 - 9; 11]. Порівняльний аналіз цих методів щодо їх нечутливості до впливу систематичних похибок не проводився.

Мета роботи. Метою роботи є дослідження методів оцінювання параметрів просторових оболонок під час спостереження за деформаціями. Дослідження методів виконано за даними наземного лазерного сканування за наявності систематичних похибок.

Основна частина. Перш ніж викласти безпосередні результати досліджень, наведемо основні відомості та математичні залежності методів, що були нами використані. Одразу зауважимо, що в основу розглянутих методів покладено класичний метод найменших квадратів (МНК) і використано обчислювальний алгоритм цього методу.

Метод варіаційно-зважених наближень (МВЗН)

Цей метод наводимо згідно із алгоритмом, запропонованим професором Т.Т. Чмчяном. Якщо вимірювання мають залишкову систематичну похибку, то рекомендується виконувати ітераційний процес з послідовним уточненням вагової матриці $\mathbf{P}_{(j)}$. На початковому етапі виконують оцінювання за класичною схемою МНК, в якій матрицю ваг встановлюють одиничною. Після оцінювання матрицю ваг розраховують за виразом:

$$\mathbf{P}_j = \begin{pmatrix} \exp\left(\frac{(v_1^2)_{j-1}}{\mu_{j-1}^2}\right) & 0 & 0 \\ 0 & \exp\left(\frac{(v_2^2)_{j-1}}{\mu_{j-1}^2}\right) & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \exp\left(\frac{(v_n^2)_{j-1}}{\mu_{j-1}^2}\right) \end{pmatrix}, \quad (1)$$

де позначення є відповідними загальновідомим величинам у методі найменших квадратів.

Ітераційний процес виконують доти, доки відхилення між похибками одиниць ваги в сусідніх ітераціях не стануть меншими від наперед заданої величини.

Метод середньої квадратичної колокації (МСКК)

Метод дає можливість врахувати кореляційні зв'язки між спостереженнями.

Професор Г. Моріц ввів «вектор сигналу» для опису стохастичних параметрів, що не ввійшли в параметричну модель. Цей вектор сигналу описується в термінах коваріаційної матриці та математичного сподівання. Такий підхід дає можливість суттєво розширити можливості традиційного методу найменших квадратів. Розглянемо параметричну модель даних згідно з моделлю, наведеною у роботі [11]:

$$\mathbf{A}\Delta + \mathbf{\Omega}y + \mathbf{v} = \mathbf{l}. \quad (2)$$

Член $\mathbf{\Omega}y$ представляє параметри, які є стохастичними. Якщо кількість стохастичних параметрів m , то

$$\mathbf{A}\Delta + \mathbf{\Omega}y + \mathbf{v} = \mathbf{A}x + \sum_{i=1}^m \mathbf{\Omega}_i y_i + \mathbf{v} = \mathbf{A}\Delta + (\mathbf{\Omega}_1 \quad \mathbf{\Omega}_2 \quad \dots \quad \mathbf{\Omega}_m) \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_m \end{pmatrix} + \mathbf{v} = \mathbf{l}.$$

Після складних перетворень отримують вирази для оцінювання постійних і стохастичних параметрів:

$$\Delta = \left[\mathbf{A}^T (\mathbf{Q}_w + \mathbf{\Omega} \mathbf{Q}_y \mathbf{\Omega}^T)^{-1} \mathbf{A} \right]^{-1} \mathbf{A}^T (\mathbf{Q}_w + \mathbf{\Omega} \mathbf{Q}_y \mathbf{\Omega}^T)^{-1} \mathbf{l} \quad (3)$$

$$\hat{y} = \mathbf{Q}_y \mathbf{\Omega}^T (\mathbf{\Omega} \mathbf{Q}_y \mathbf{\Omega}^T + \mathbf{Q}_w)^{-1} (\mathbf{l} - \mathbf{A}\Delta)$$

Вирази для оцінювання за МНК та МСКК збігаються за своєю структурою. МСКК може бути інтерпретований як узагальнений МНК з повною матрицею апріорних коваріаційних похибок спостережень.

Метод найменших модулів (МНМ)

Серед так званих робастих методів, стійких до грубих помилок, найбільш популярним є метод найменших модулів, ідея якого була запропонована ще П. Лапласом. Наводимо схему ітераційного процесу, запропоновану професором С.Г. Могильним. Застосовуючи варіаційний принцип методу найменших модулів, будують ітераційний процес за такими формулами:

$$\mathbf{K}_{(j)} = \left(\mathbf{A} \cdot \tilde{\mathbf{P}}_{(j-1)}^{-1} \mathbf{A}^T \right)^{-1} \left(\tilde{\Delta}_{(j-1)} \cdot \mathbf{I} - \mathbf{y} \right);$$

$$\mathbf{V}_x^{(j)} = \tilde{\mathbf{P}}_{(j-1)}^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{K}_{(j)}; \tag{4}$$

$$\tilde{\Delta}_{(j)} = \frac{\mathbf{I}^T \left(\mathbf{A} \cdot \mathbf{P}_{(j-1)}^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \right)^{-1} \mathbf{y}}{\mathbf{I}^T \left(\mathbf{A} \cdot \mathbf{P}_{(j-1)}^{-1} \cdot \mathbf{A}^T \right)^{-1} \mathbf{I}}$$

$$\tilde{\mathbf{P}}_{(j)} = \begin{pmatrix} \frac{\mu}{\sigma_1 |v_1^{(j-1)}|} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\mu}{\sigma_1 |v_1^{(j-1)}|} & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \frac{\mu}{\sigma_1 |v_1^{(j-1)}|} \end{pmatrix}. \tag{5}$$

Формули (4-5) реалізують строге рішення задачі МНМ, але такий алгоритм виявляє грубі помилки у вихідних вимірюваннях, а не у векторі \mathbf{y} , який потрібно проаналізувати. Тому в остаточному вигляді запишемо формули для ітераційного процесу за методом найменших модулів:

$$\Delta_{(j+1)} = \frac{\mathbf{I}^T \mathbf{Q}^T \tilde{\mathbf{P}}_{(j)} \mathbf{Q} \mathbf{y}}{\mathbf{I}^T \mathbf{Q}^T \tilde{\mathbf{P}}_{(j)} \mathbf{Q} \mathbf{I}}; \tag{6}$$

$$\Lambda_{(j)} = \mathbf{Q} \mathbf{y} - \Delta_{(j)} \mathbf{Q} \mathbf{I}.$$

$$\tilde{\mathbf{P}}_{(j)} = \begin{pmatrix} \frac{\mu}{|\lambda_1^{(j)}|} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{\mu}{|\lambda_1^{(j)}|} & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \frac{\mu}{|\lambda_1^{(j)}|} \end{pmatrix}. \tag{7}$$

Початок ітерацій починається за таких умов:

$$\tilde{\mathbf{P}}_{(j)} = \mathbf{E}, \quad \Delta_{(j+1)} = \frac{\mathbf{I}^T \mathbf{Q}^T \mathbf{Q} \mathbf{y}}{\mathbf{I}^T \mathbf{Q}^T \mathbf{Q} \mathbf{I}} = \frac{\mathbf{I}^T \mathbf{P}_y \mathbf{y}}{\mathbf{I}^T \mathbf{P}_y \mathbf{I}}.$$

З останнього виразу видно, що узагальнене середнє вагове є початковим наближенням в методі найменших модулів. Цей метод не достатньо досліджений стосовно даних, спотворених систематичними похибками, однак загальновідомо, що він є дуже ефективним для локалізації грубих помилок навіть в корельованих даних.

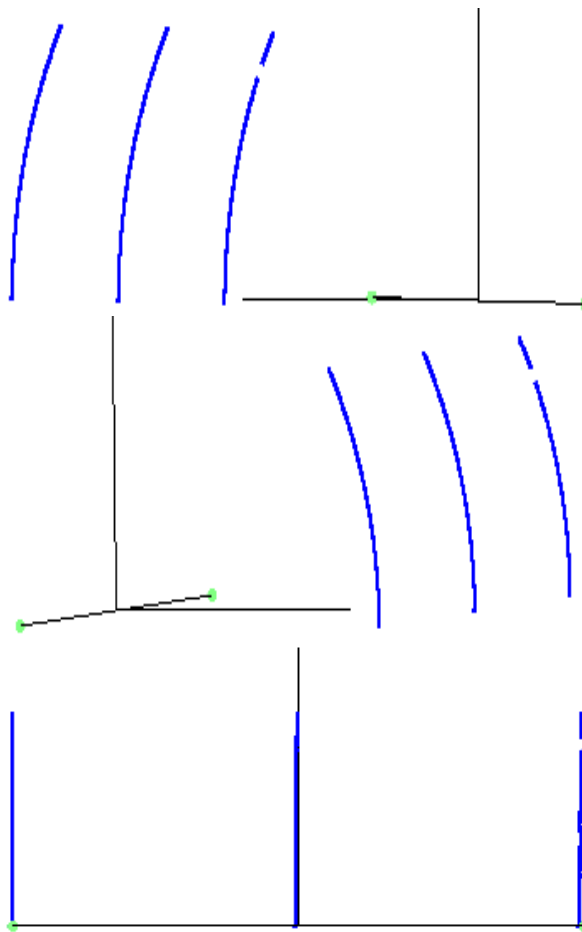
Після стислого огляду досліджуваних нами методів перейдемо до викладу завдання та опису вихідних даних.

Появу систематичних помилок у результатах спостережень можна пояснити багатьма факторами. Відомо, що виникнення систематичних похибок, так само як і грубих, може бути спричинене зміною за певним законом деякої величини, наявної у результатах спостережень. Систематична похибка може бути в будь-якому компоненті комплексу умов: об'єкті спостережень, приладі, зовнішніх умовах, методі та навіть роботі спостерігача. Згідно з загальною теорією зрівнювання результатів геодезичних спостережень вплив систематичних похибок потрібно звести до мінімуму.

Для дослідження впливу систематичних помилок на результати оцінювання та визначення методу, який дає змогу найбільш вдало послабити вплив систематичних помилок, виконано оброблення результатів спостережень за фрагментом просторової оболонки, що має форму кругового циліндра.

Матеріали були отримані в результаті спостережень за допомогою електронного роботизованого тахеометра в режимі без відбивача за трьома перерізами через кожні 10 метрів, загальна кількість точок – 1422.

Загальний вигляд фрагмента циліндричної оболонки у вигляді трьох перерізів в різних ракурсах після попереднього оброблення та вилучення грубих помилок наведено на рис. 1. Згідно з попередніми розрахунками середня квадратична похибка визначення просторового положення точки – 3,5 мм.



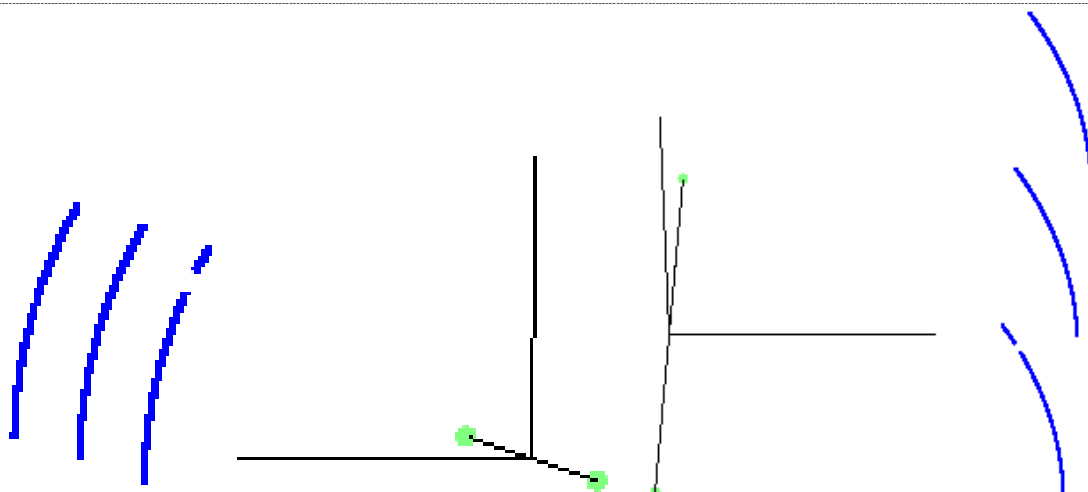


Рис. 1. Загальний вигляд фрагмента циліндричної оболонки у вигляді трьох перерізів

Важливим етапом є визначення форми та математичної моделі представлення поверхні. Від цього залежатиме інформативність отриманих результатів та, головне, стабільність обчислювального процесу. Застосовують кілька форм представлення моделей.

Явна форма

Для просторових поверхонь таке представлення виражає одну координату як функцію двох інших. Математично такі умови можна передати виразами:

$$z = f(x, y); x_1 \leq x \leq x_2; y_1 \leq y \leq y_2.$$

Явну форму застосовують тільки до поверхонь, які мають одне значення z для кожної пари $(x; y)$. Такій умові не задовольняє більшість поверхонь, наприклад, циліндр у розгляданому випадку. Найчастіше явну форму використовують для апроксимації площини у вигляді рівності:

$$z = ax + by + c.$$

Така форма запису є відповідною випадку апроксимації, коли похибки вимірювань є лише у висотній складовій, а планові координати вважають безпомилковими.

Неявна форма

Будь-яку поверхню в неявній формі представляють як функцію трьох координат:

$$f(x, y, z) = 0.$$

Прикладом такого представлення є рівняння сфери:

$$(x - c_x)^2 + (y - c_y)^2 + (z - c_z)^2 - r^2 = 0,$$

де $c = (c_x \ c_y \ c_z)$ – координати центра сфери, а r – радіус. Подібна форма запису характерна для площини (лінійна), циліндра (квадратична), конуса (квадратична) і тора (квадратична).

Параметрична форма

Параметрична форма являє собою окрему функцію для кожної координати. Кожна така функція параметризована через дві нові змінні u і v . Область значень цих змінних задається так:

$$x = f(u, v); y = g(u, v); z = h(u, v).$$

Квадратична поверхня в загальному вигляді представлена рівнянням:

$$ax^2 + by^2 + cz^2 + 2fyz + 2gzx + 2hxy + 2px + 2qy + 2rz + d = 0. \quad (8)$$

Для апроксимації будь-якої поверхні слід обрати або алгебраїчну відстань, або геометричну. З рівняння (8) видно, що квадратична поверхня має лише дев'ять ступенів свободи і 10 коефіцієнтів. Таку надпараметризацію можна подолати, ввівши додаткове обмеження на параметри поверхні. Оберемо обмеження:

$$a^2 + b^2 + c^2 + f^2 + g^2 + h^2 + p^2 + q^2 + r^2 + d^2 = 1.$$

Якщо визначити наступну матрицю для набору точок n , де $n \geq 9$, матимемо [4]:

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} x_1^2 & y_1^2 & z_1^2 & 2y_1z_1 & 2x_1z_1 & 2y_1x_1 & 2x_1 & 2y_1 & 2z_1 & 1 \\ x_2^2 & y_2^2 & z_2^2 & 2y_2z_2 & 2x_2z_2 & 2y_2x_2 & 2x_2 & 2y_2 & 2z_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & 1 \\ x_n^2 & y_n^2 & z_n^2 & 2y_nz_n & 2x_nz_n & 2y_nx_n & 2x_n & 2y_n & 2z_n & 1 \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{n} = (a \ b \ c \ d \ f \ g \ h \ p \ r \ d)^T;$$

$$\mathbf{M} = \mathbf{A}^T \mathbf{A} = \mathbf{E} \mathbf{\Lambda} \mathbf{E}^T,$$

Тоді можна показати, що метод найменших квадратів з обмеженнями дає рішення для n точок у вигляді власного вектора \mathbf{M} (i -та колонка матриці \mathbf{E}), відповідного мінімальному власному значенню (i -го діагонального елемента λ матриці $\mathbf{\Lambda}$). Отримана таким чином поверхня не відповідає стандартній формі, оскільки є розвернутою і зміщеною відносно прийнятої системи координат. Приведення поверхні до однієї зі стандартних форм виконують за допомогою канонічного аналізу.

Оскільки ми використовуємо канонічний аналіз тільки для квадратичних поверхонь, наведемо порядок перетворень саме для цього випадку. Рівняння (8) в матричній формі можна записати таким чином [4]:

$$\mathbf{v}^T \mathbf{Q} \mathbf{v} + \mathbf{v}^T \mathbf{b} + d;$$

$$\mathbf{Q} = \begin{pmatrix} a & h & g \\ h & b & f \\ g & f & c \end{pmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{pmatrix} 2p \\ 2q \\ 2r \end{pmatrix}, \quad \mathbf{v} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Встановимо $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ - власні значення симетричної матриці \mathbf{Q} і $\mathbf{e}_1, \mathbf{e}_2, \mathbf{e}_3$ - відповідні власні вектори. Обов'язкова умова полягає в тому, що усі власні вектори повинні мати одиничну довжину $\|\mathbf{e}_i\| = 1$. Вважатимемо, що \mathbf{E} - ортогональна матриця 3×3 з колонками, які містять ці власні вектори, і $\mathbf{\Lambda}$ - діагональна матриця з відповідними власними значеннями по діагоналі, пов'язані співвідношенням $\mathbf{Q} \mathbf{E} = \mathbf{E} \mathbf{\Lambda}$.

Помноживши з обох боків на \mathbf{E}^T і зважаючи на те, що $\mathbf{E}^{-1} = \mathbf{E}^T$, отримаємо $\mathbf{E}^T \mathbf{Q} \mathbf{E} = \Lambda$. Тепер перепишемо рівняння:

$$(\mathbf{v}^T \mathbf{E}) \mathbf{E}^T \mathbf{Q} \mathbf{E} (\mathbf{E}^T \mathbf{v}) + (\mathbf{v}^T \mathbf{E}) (\mathbf{E}^T \mathbf{b}).$$

Визначимо $\mathbf{v}_a = \mathbf{E}^T \mathbf{v}$; $\mathbf{b}_a = \mathbf{E}^T \mathbf{b}$ і, підставивши в це рівняння, отримаємо:

$$\mathbf{v}_a^T \Lambda \mathbf{v}_a + \mathbf{v}_a^T \mathbf{b}_a + d. \tag{10}$$

Оскільки матриця Λ є діагональною, після перемноження залишається рівняння, яке має тільки лінійні складові та константу. Для визначення компонентів зсуву візьмемо похідну від рівняння (10):

$$2\Lambda \mathbf{v}_a + \mathbf{b}_a.$$

Якщо вважати, що невідомого зміщення \mathbf{t} немає в рівнянні (10), то

$$2\Lambda(\mathbf{v}_a + \mathbf{t}) + \mathbf{b}_a = 0; \mathbf{v}_a = 0 \Rightarrow 2\Lambda \mathbf{t} = -\mathbf{b}_a \Rightarrow \mathbf{t} = -\frac{1}{2} \Lambda^{-1} \mathbf{b}_a.$$

Замінивши \mathbf{v}_a на $\mathbf{v}_b = (\mathbf{v}_a + \mathbf{t})$, отримаємо в результаті підстановки:

$$d_b = d + \mathbf{t}^T \mathbf{b}_a.$$

Остаточно рівняння квадратичної поверхні в канонічній формі матиме такий вигляд:

$$\mathbf{v}_b^T \Lambda \mathbf{v}_b + d_b = 0.$$

Канонічний аналіз дає змогу наближено визначити величини розвороту, зміщення та інші параметри поверхні. Ми застосували цю техніку для наближеного обчислення параметрів циліндричної оболонки.

Параметрами циліндра є $\mathbf{a} = (a_x \ a_y \ a_z)$ – напрямні косинуси осі циліндра, $\mathbf{c} = (c_x \ c_y \ c_z)$ – координати точки на осі циліндра, найближчої до початку координат, і радіус. Якщо i -та точка знаходиться на поверхні циліндра, то справедливим є векторне рівняння:

$$\|(\mathbf{p} - \mathbf{c}) \times \mathbf{a}\| - r = 0. \tag{11}$$

Позначення в рівнянні (11) можна зрозуміти з рис. 2.

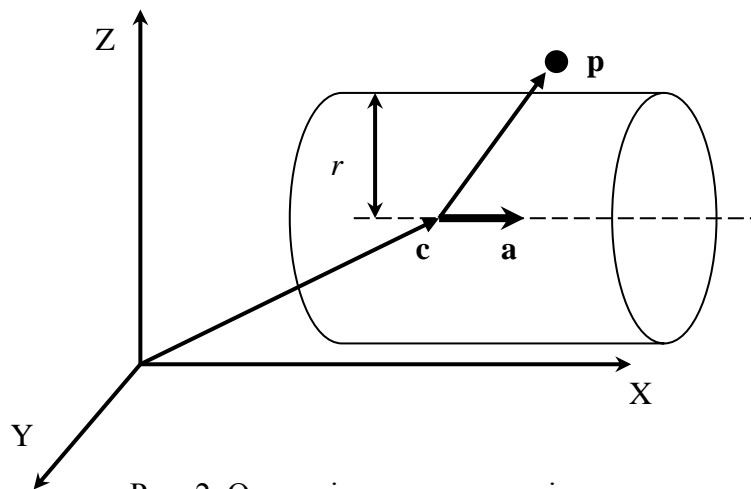


Рис. 2. Основні параметри циліндра

Якщо умова (11) не задовольняється, виникають нев'язки $\|(\mathbf{p}-\mathbf{c})\times\mathbf{a}\|-r=\Delta_i$. До стандартних рівнянь поправок, отриманих після лінеаризації виразу (11), слід додати обмеження:

$$\sqrt{a_x^2+a_y^2+a_z^2}=1; \quad a_x c_x+a_y c_y+a_z c_z=0. \quad (12)$$

Перший з виразів (12) означає, що вектор \mathbf{a} має одиничну довжину, другий – що точка \mathbf{c} повинна бути на одній осі з вектором \mathbf{a} .

$$\mathbf{v}_c=r; \quad (\mathbf{p}-\mathbf{c})=\mathbf{v}_s; \quad \Delta=\|\mathbf{v}_s\times\mathbf{a}\|-r.$$

Тоді для зведення рівняння (11) до лінійного вигляду треба обчислити частинні похідні за виразами:

$$\frac{\partial r}{\partial x}=\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} a_z v_{s_y}-a_y v_{s_z} \\ a_x v_{s_z}-a_z v_{s_x} \\ a_y v_{s_x}-a_x v_{s_y} \end{bmatrix}.$$

На початковому етапі було виконане оцінювання параметрів поверхні без систематичних похибок (табл. 1).

Таблиця 1

Результати оцінювання

Метод	Xн, м	Yн, м	Zн, м	R, м	Xв, м	Yв, м	Zв, м
МНК	0,0001	-0,0011	-30,186	14,7652	-0,0032	-0,0022	-10,085
МВЗН	0,0006	0,0003	-30,186	14,7676	-0,0042	-0,0015	-10,085
МСКК	-0,0015	-0,0005	-30,186	14,7677	-0,0063	-0,0024	-10,085
МНМ	-0,0014	-0,0003	-30,186	14,7655	-0,0062	-0,0022	-10,085

За результатами оцінювання побудовано графік відхилень для кожного перерізу.

МНК

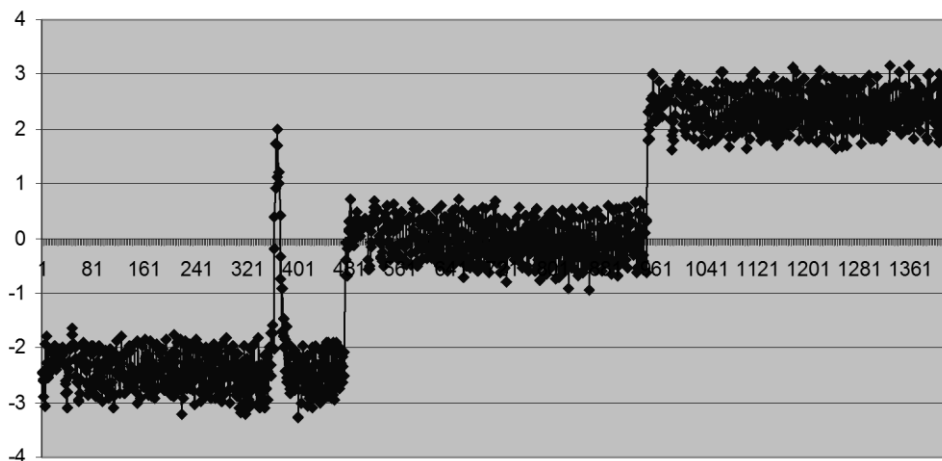


Рис. 3. Залишкові відхилення на кожному перерізі (мм)

З графіка випливає два висновки. Перший – наявність значної за величиною випадкової похибки, яка фактично наближається до грубої. Другий – є суттєвий систематичний зсув між перерізами.

Для дослідження запропонованих нами методів оцінювання до кожного перерізу додамо систематичну похибку, яка змінюється за таким законом:

$$\delta = A \sin\left(\frac{2\pi x}{L}\right) + w, \quad (13)$$

де A – амплітуда синусоїди, L – довжина хвилі синусоїди, w - випадкова складова.

Значення систематичної похибки введені в координати кожного перерізу. Залежність (13) можна представити графічно (рис. 4).

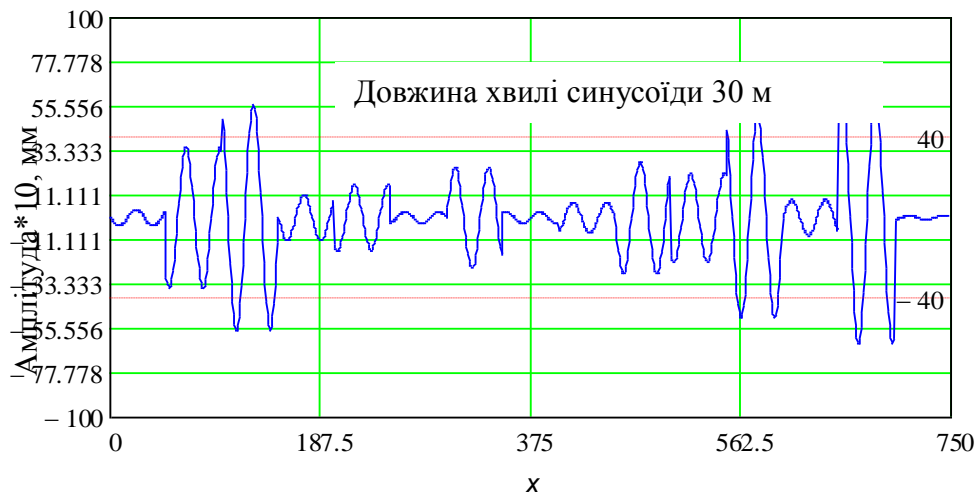


Рис. 4. Графік зміни систематичної похибки

Далі виконаємо оцінювання параметрів поверхні оболонки з врахуванням систематичних похибок. Результати оцінювання представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати оцінювання з врахуванням систематичних похибок

Метод	X_n , м	Y_n , м	Z_n , м	R , м	X_v , м	Y_v , м	Z_v , м
МНК	0,0005	-0,0013	-30,186	14,7647	-0,0031	-0,0027	-10,085
МВЗН	0,0001	0,0001	-30,186	14,7678	-0,0050	-0,0017	-10,085
МСКК	-0,0014	-0,0002	-30,186	14,7681	-0,0060	-0,0020	-10,085
МНМ	-0,0018	-0,0005	-30,187	14,7651	-0,0052	-0,0017	-10,085

Найбільшого ефекту вдалося досягти, застосувавши метод середньої квадратичної колокації. За цього методу вдалося не тільки отримати найменшу СКП = 2,2 мм, а й однозначно відтворити модель систематичної похибки, наявної в результатах спостережень.

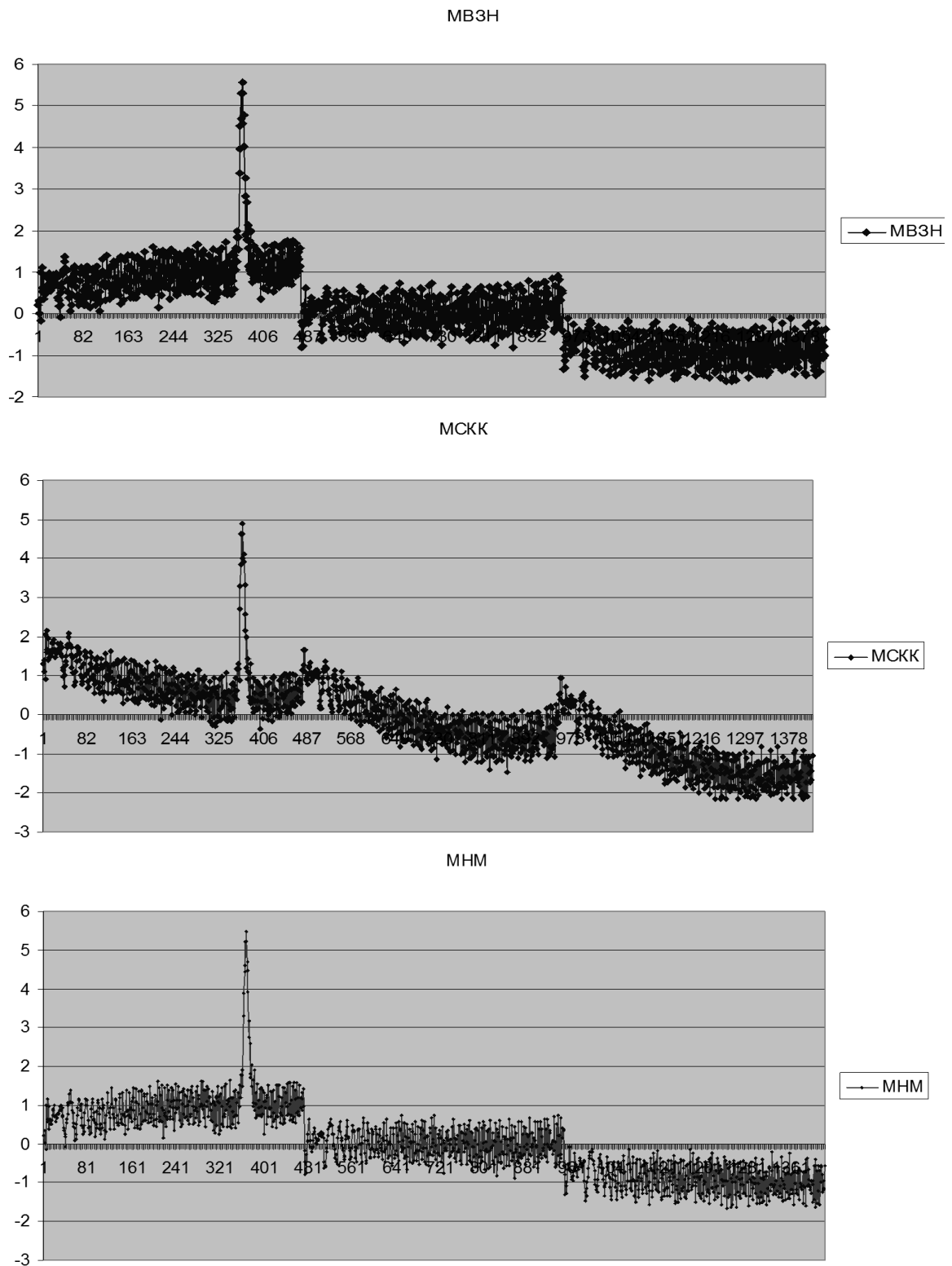


Рис. 5. Залишкові відхилення після врахування впливу систематичних похибок (мм)

Ще до включення систематичних похибок виокремлено фрагмент, де, можливо, наявні грубі помилки. Завдяки застосуванню запропонованих методів, окрім виключення систематичних похибок, ідентифіковано також п'ять грубих помилок. Остаточні графіки залишкових відхилень представлено на рис. 6.

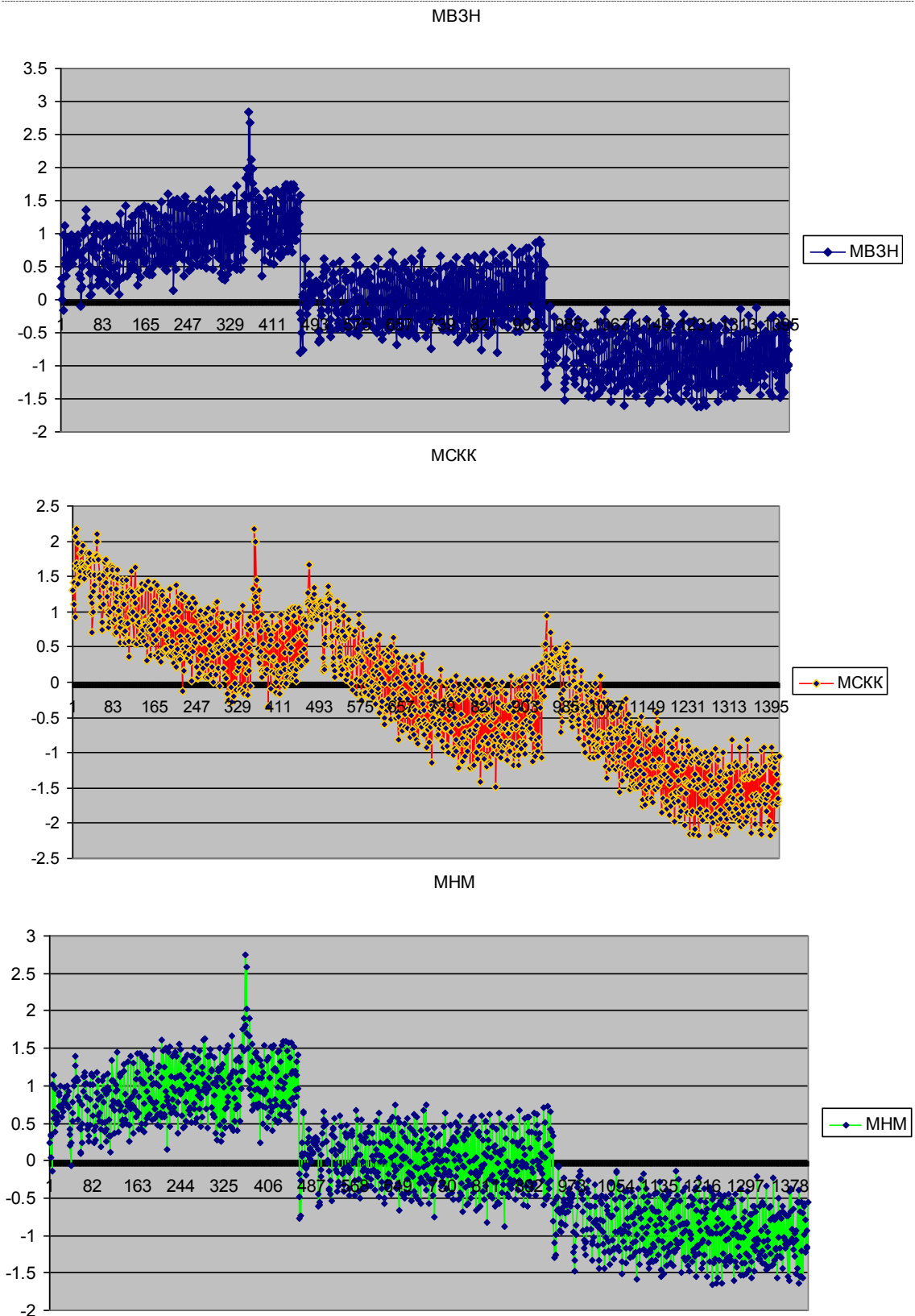


Рис. 6. Залишкові відхилення після врахування впливу систематичних та грубих помилок

Результати дослідження запропонованих методів дають змогу сформулювати загальні висновки.

Висновок. У роботі досліджено метод наземного лазерного сканування для визначення параметрів просторових оболонок. Поставлене завдання розв'язано з метою удосконалення методики визначення деформацій просторових оболонок. У процесі оцінювання параметрів оболонок досліджено такі методи: найменших модулів, варіаційно-зважених наближень та середньої квадратичної колокації. Виявлено, що найбільш ефективним є метод середньої квадратичної колокації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Kefyalew, H.* Investigation of the use of Laser Scanning for Deformation Monitoring [Text]: Master of Science Thesis / H.Kefyalew. - Stockholm, 2013. – 67 p.
2. *Koska B., Křemen T., Pospíšil J., Kyrinovič P., Halíčková J.* Monitoring Of Lock Chamber Dynamic Deformation // 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis, Lisbon, 12-15 May 12-15 2008 10p.
3. *Lindenbergh R., Pfeifer N., Rabbani T.* Accuracy analysis of the leica HDS3000 and feasibility of tunnel deformation monitoring. ISPRS WG III/3 Workshop "Laser scanning 2005", Enschede, the Netherlands, September 12-14, 2005 6p.
4. *Rabbani, T.* Automatic Reconstruction of Industrial Installations Using Point Clouds and Images [Text]: Thesis for the Degree of Doctor of Science / T. Rabbani. – Delft, 2006 – p. 175.
5. *Schäfer T., Weber T., Kyrinovič P., Zámečnicková M.* Deformation Measurement Using Terrestrial Laser Scanning at the Hydropower Station of Gabčíkovo // INGENEO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying Bratislava, Slovakia, November 11-13, 2004 TS2 – Terrestrial Laser Scanning, 10p.
6. *Вальков В.А.* Геодезические наблюдения за процессом деформирования высотных сооружений с использованием технологии наземного лазерного сканирования [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 25.00.32 / В. А. Вальков. – СПб., 2015. — 158 с.
7. *Журкин И.Г.* Методы вычислений в геодезии / И.Г. Журкин, Ю.М. Нейман. – М.: Недра, 1988 – 304 с.
8. *Маркузе Ю.И.* Основы уравнильных вычислений / Ю.И. Маркузе. – М.: Недра, 1990. – 240 с.
9. *Мориц Г.* Современная физическая геодезия / Г. Мориц. – М.: Недра, 1980. – 324 с.
10. *Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова.* – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.
11. *Титов О.А.* Применение среднеквадратической коллокации для обработки РСДБ наблюдений / О.А. Титов // Сообщения ИПА РАН, СПб., – 1996. – №96. – 132 с.
12. *Шульц Р.В.* Теорія і практика наземного лазерного сканування в задачах інженерної геодезії [Текст] : дис. ... доктора техн. наук: 05.24.01 / Р. В. Шульц. – К., 2012. – 364 с.

REFERENCES

1. Kefyalew, H. (2013) Investigation of the use of Laser Scanning for Deformation Monitoring [Investigation of the use of Laser Scanning for Deformation Monitoring]. Stockholm, 67.
2. Koska B., Křemen T., Pospíšil J., Kyrinovič P., Halíčková J. (2008) Monitoring Of Lock Chamber Dynamic Deformation // 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis, Lisbon, 10p.
3. Lindenbergh R., Pfeifer N., Rabbani T. (2005) Accuracy analysis of the leica HDS3000 and feasibility of tunnel deformation monitoring. ISPRS WG III/3 Workshop "Laser scanning 2005", Enschede, the Netherlands, 6 p.
4. Rabbani, T. (2006) Automatic Reconstruction of Industrial Installations Using Point Clouds and Images *Thesis for the Degree of Doctor of Science*. – Delft.
5. Schäfer T., Weber T., Kyrinovič P., Zámečniková M. (2004) Deformation Measurement Using Terrestrial Laser Scanning at the Hydropower Station of Gabčíkovo // INGENIO 2004 and FIG Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying Bratislava, Slovakia, TS2 – Terrestrial Laser Scanning, 10p.
6. Valkov, V.A. (2015). Geodezicheskie nablyudeniya za protsessom deformirovaniya vyisotnykh sooruzheniy s ispolzovaniem tehnologii nazemnogo lazernogo skanirovaniya [Geodetic monitoring of the deformation process of high-rise buildings using the technology of terrestrial laser scanning]. *Doctor's thesis*. St. Petersburg [in Russian].
7. Zhurkin, I., Neumann Y. (1988) *Metodyi vyichisleniy v geodezii [Methods of calculations in geodesy]*. Moscow: Nedra [in Russian].
8. Marcuse, Y. (1990) *Osnovy uravnitelnykh vyichisleniy [Fundamentals of adjustment calculations]*. Moscow: Nedra [in Russian].
9. Moritz, H. (1980) *Sovremennaya fizicheskaya geodeziya [Modern physical geodesy]*. Moscow: Nedra [in Russian].
10. V.A. Seredovich, A.V. Komissarov, D.V. Komissarov, T.A. Shirokova (2009) *Nazemnoe lazernoe skanirovanie [Terrestrial laser scanning]*. Novosibirsk: SGGA [in Russian].
11. Titov, O. (1996) *Primenenie srednekvadratochnoy kollokatsii dlya obrabotki RSDB nablyudeniya [Application average quadratic collocation to process of VLBI observations]*. St. Petersburg: Bulletin RAS [in Russian].
12. Shults R. V. (2012). Teoriya i praktyka nazemnogo lazernogo skanuvannya v zadachakh inzhenernoyi geodeziyi [Theory and practice of terrestrial laser scanning in the tasks of applied geodesy]. *Doctor's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

Н.В. Куличенко

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНИВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ОБОЛОЧЕК В ЗАДАЧЕ НАБЛЮДЕНИЯ
ЗА ДЕФОРМАЦИЯМИ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО
СКАНИРОВАНИЯ ПРИ НАЛИЧИИ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ
ПОГРЕШНОСТЕЙ**

В работе рассмотрены задачи исследования деформаций пространственных оболочек инженерных сооружений. Выполнены исследования различных методов обработки данных наземного лазерного сканирования при наличии систематических погрешностей. Исследование осуществлено на примере результатов сканирования пространственных оболочек. Для этого класса инженерных сооружений определение деформаций по данным наземного лазерного сканирования можно выполнить путем построения математической модели реальной поверхности и последующего сравнения этой модели с проектной. Оценивание параметров реальной модели поверхности оболочки предложено осуществлять с использованием различных методов: наименьших квадратов, наименьших модулей, вариационно-взвешенных приближений и средней квадратической коллокации. Исследована эффективность каждого из этих методов и выяснено, какой из них целесообразно использовать для оценки параметров пространственных оболочек.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, пространственная оболочка, метод наименьших квадратов, метод наименьших модулей, метод вариационно-взвешенных приближений, метод средней квадратической коллокации.

N.V. Kulichenko

**DETERMINATION OF HISTORIC BUILDINGS ROLLS BY TERRESTRIAL
LASER SCANNING**

The paper discusses the problem of the engineering structures spatial shells deformations study. The studies of various methods of terrestrial laser scanning data processing in the presence of systematic errors were performed. A study carried out by the example of the spatial shells scanning results. For this class of engineering structures definition of deformation according to terrestrial laser scanning data can be performed by constructing a mathematical model of a real surface and the subsequent comparison of this model with the project model. Estimation of the real models parameters of the shell surface offered to be carried out using different methods: least squares, the least modules, the variational-weighted approximations and average quadratic collocation. The efficiency of each of these methods and found out which of them should be used in evaluating the spatial parameters of the shells was researched. According to the research, the most effective method is an average quadratic collocation.

Keywords: terrestrial laser scanning, spatial shell, the method of least squares, the method of least modules, the method of variational-weighted approximations, average quadratic collocation method.

В.С. Стрілець, аспірант кафедри інженерної геодезії
Київський національний університет будівництва та архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ЗАХИСНИХ СПОРУД НА РЕЗУЛЬТАТИ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

У статті розглянуто і проаналізовано актуальність проблеми впливу температурних деформацій на результати геодезичних вимірювань. Запропоновано для визначення температурних деформацій захисних споруд поєднувати методи будівельної механіки з результатами геодезичних вимірювань. Наведено розрахункову модель підпірної стінки у вигляді стержня з жорстким заземленням. Для розрахунку температурних деформацій підпірної стінки застосовано метод переміщень. Теоретичні переміщення стержневої моделі обчислено шляхом розв'язання диференціальних рівнянь, що описують НДС конструкції під впливом температури. Обґрунтовано необхідність врахування температурних переміщень деформаційних марок в результати геодезичних вимірювань.

Ключові слова: температурні деформації, напружено-деформований стан (НДС), геодезичний моніторинг.

Вступ. Унаслідок періодичної зміни зовнішніх умов, а саме температури, вологості, навантаження від вітру та ґрунту, вібраційних навантажень інженерні споруди або їх окремі частини переміщуються в просторі відносно проектного положення. Такі переміщення можуть бути як тимчасовими, так і постійними. Зміна положення конструкцій в просторі призводить до зміни несучої здатності як споруди загалом, так і її окремих конструктивних елементів. Тому завдання геодезичного моніторингу – визначити фактичну величину деформацій, причини їх виникнення та спрогнозувати деформаційні процеси і вжити своєчасних заходів для зниження їх впливу. Сучасний рівень розвитку геодезичних приладів та різноманітних програмних комплексів дає інженерам-геодезістам змогу розробляти нові методи геодезичного моніторингу або удосконалювати вже відомі методики.

Питання впливу зміни температури на результати геодезичних вимірювань під час зведення багатоповерхових будинків, мостів, магістральних трубопроводів, оболонки покриття тощо нині залишається нерозв'язаним. Особливо гостро це відчувається під час зведення складних сучасних споруд з монолітного залізобетону. Під впливом температури в залізобетоні виникають внутрішні взаємно врівноважені напруження, спричинені відмінностями в значеннях коефіцієнта лінійного розширення бетону і металеві арматури. Слід також зауважити, що в зовнішніх шарах матеріал прогрівається інтенсивніше, ніж у внутрішніх. Нерівномірний розподіл температури в споруді призводить до виникнення нерівномірності напружень в тілі конструкції, що є однією з причин її руйнування. Тому для

визначення точних теоретичних величин температурних переміщень потрібно розглядати класичні методи розв'язання задач в будівельній механіці.

Аналіз досліджень та публікацій. Нині науковцями розглянуто можливі перспективні напрями вирішення багатьох проблем в геодезії шляхом дослідження напружено-деформованого стану конструкцій [1-3]. Завдяки поєднанню результатів моделювання будівельної механіки з результатами геодезичних спостережень можна вести мову про новий рівень геодезичного забезпечення будівництва.

Вплив температурних деформацій будівельних конструкцій під час геодезичного моніторингу висвітлено в наукових працях П.І. Барана, Н.О. Міщенко, О.М. Самойленко, С.П. Войтенко та багатьох інших. Найбільшу увагу геодезистів температурні деформації привертають під час будівництва та моніторингу за спорудами баштового типу (труби, телевежі, градирні тощо), оскільки саме ці споруди можна використовувати як пункти тріангуляційної мережі [4-6]. Але такі моделі визначення температурних деформацій є наближеними, оскільки вони не описують точного закону розподілу температури по перерізу конструкції і не відображають конструктивних особливостей об'єктів дослідження. У роботах зарубіжних науковців [7; 8] наведено математичні моделі визначення температурних деформацій за результатами натурних спостережень. Результати моделювання покрівлі Олімпійського Овалу (м. Калгарі, Канада) [7] не збігаються з результатами вимірювання, оскільки модель не враховує точного розподілу температур в конструкції опор, а рівняння опису деформації арки Атлантичного павільйону (м. Ліссабон, Португалія) [8] взагалі не має достовірного підтвердження отриманих величин деформацій.

Згідно з виконаним оглядом результатів дослідження зазначеної проблеми можна константувати неможливість прогнозування температурних деформацій будівельних конструкцій у певний момент часу за визначених температурних умов, а також використання згаданих моделей для сучасних споруд, оскільки вони є частковим випадком для конкретного об'єкта.

Постановка завдання. Мета дослідження полягає в отриманні математичної моделі температурних деформацій об'єкта дослідження за різних температурних умов та в обґрунтуванні потреби врахування цих деформацій в результатах геодезичного моніторингу.

Основна частина. Під час будівництва інженерних споруд особливу увагу приділяють фізико-географічним та інженерно-геологічним характеристикам території забудови. Виходячи з особливостей певного району застосовують той чи інший підхід до інженерно-будівельного та інженерно-геодезичного забезпечення будівництва. Підпірні стінки споруджують з практичною метою – запобігти ймовірному сповзанню землі на місцевості зі складним рельєфом. Зазвичай їх споруджують на великих схилах, наприклад, на берегах річок.

З погляду впливу температури підпірну стінку можна розділити на дві частини – підземну, тобто ту, що знаходиться нижче від рівня землі, і наземну. Підземна частина будівлі не тільки масивна, а й природно ізольована навколишнім ґрунтом, тому температурними впливами на неї можна знехтувати.

Значення коефіцієнтів температурного розширення бетону і заліза близькі між собою ($1 \cdot 10^{-5} 1/(\text{°C})$ та $1,5 \cdot 10^{-5} 1/(\text{°C})$), тому внаслідок зміни температури в невеликих межах у складеному матеріалі виникають лише незначні внутрішні напруження, що не спричиняють небезпечних деформацій. Однак через сезонні коливання температури маємо велике значення напружень, що може призвести до втрати міцності та стійкості споруди.

Для дослідження впливу температурних деформацій обрано підпірну стінку PS-2, що забезпечує стійкість схилу на ділянці будівництва торговельного центру на вул. Саперно-Слобідській у Голосіївському районі м. Києва (рис.1) [9].

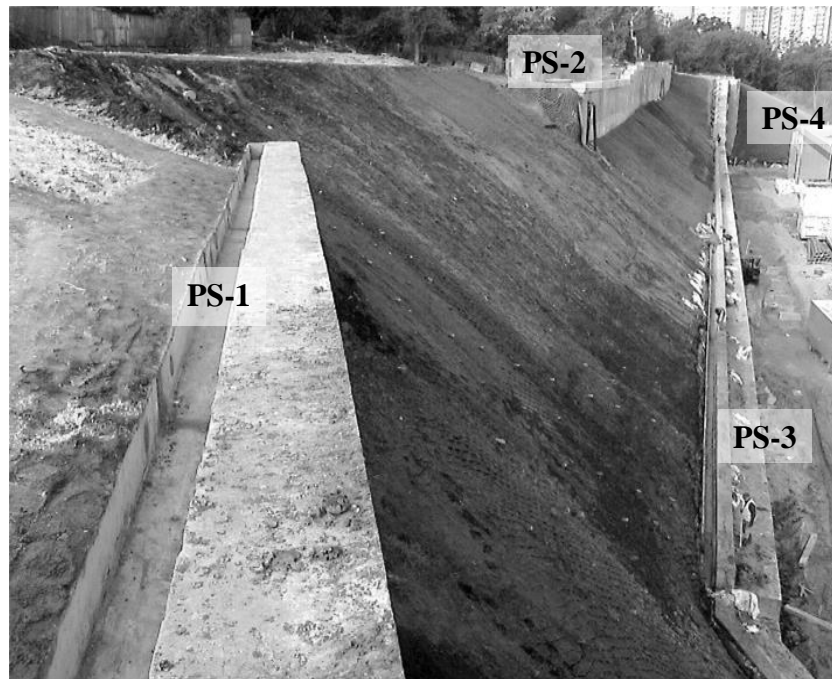


Рис. 1. Загальний вигляд розміщення підпірних

Завдання дослідження полягає в порівнянні результатів спостереження за деформаціями підпірної стінки протягом січня – червня 2014 року та результатів обчислених переміщень і шляхом ґрунтового аналізу результатів підтвердити достовірність математичної моделі, яка дає змогу прогнозувати температурні переміщення об'єкта на будь-який момент часу.

Розпочинаючи розрахунок підпірної стінки з метою дослідження можливих переміщень, слід представити конструктивне рішення у вигляді розрахункової схеми. Зважаючи на конструктивні особливості підпірної стінки та навантаження, що виникає внаслідок тиску навколишнього ґрунту, розроблено розрахункову модель (рис. 2), що являє собою стержень з жорстким защемленням унизу.

Переміщення всіх точок стержневої моделі обчислено за допомогою диференціальних рівнянь, що описують НДС конструкції під впливом температури. Для знаходження єдиного розв'язку системи рівнянь шукані функції повинні задовольняти певним граничним умовам, що залежить від способу

закріплення елемента на кінцях. Згідно з розрахунковою моделлю ці умови мають однаковий вигляд у двох випадках: якщо $x=0$ ($w, \varphi=0$) та $x=1$ ($M, Q=0$).

Саме такий підхід до розрахунку впливу температурних деформацій слід застосувати під час виконання геодезичних робіт [10].

Для розв'язання поставлених завдань використано ефективний чисельний метод розв'язання граничних задач для систем звичайних диференціальних рівнянь – метод дискретної ортогоналізації С.К. Годунова.

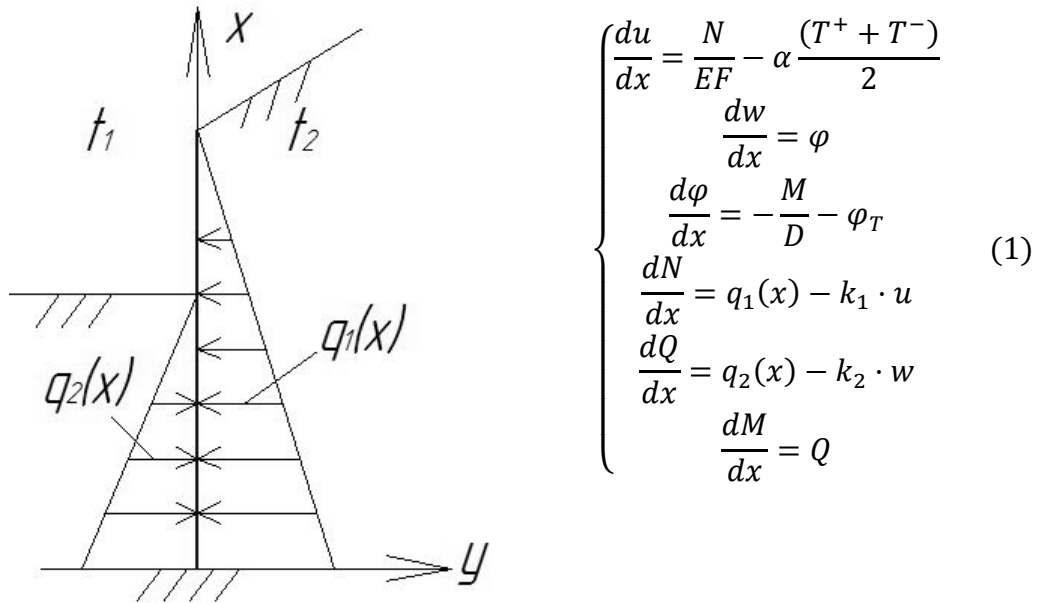


Рис. 2. Розрахункова схема підпірної стінки

Для аналізу величин переміщень обрано два цикли спостережень за аномальних значень температури: $t_1 = -20^\circ\text{C}$ та $t_2 = +25^\circ\text{C}$. На рис. 3. наведено результати розрахунку переміщень наземної частини палі за температури $t_1 = -20^\circ\text{C}$ (суцільна крива) та $t_2 = +25^\circ\text{C}$ (штрих-пунктирна крива).

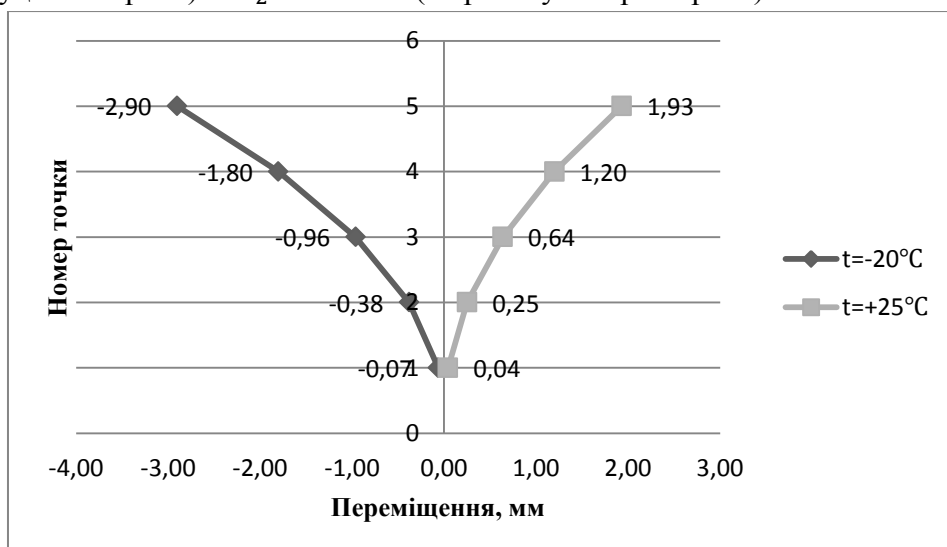


Рис. 3. Розрахункова крива граничного значення зміщення точок палі залежно від температури

Спостереження виконано за деформаційними марками, розміщеними у верхній частині ростверку та в нижній частині підірної стінки ($h=0.5-1$ м). Точність визначення координат марок становить 3 мм.

На рис. 4 та 5 представлено графіки результатів вимірювання переміщень деформаційних марок для PS-2.

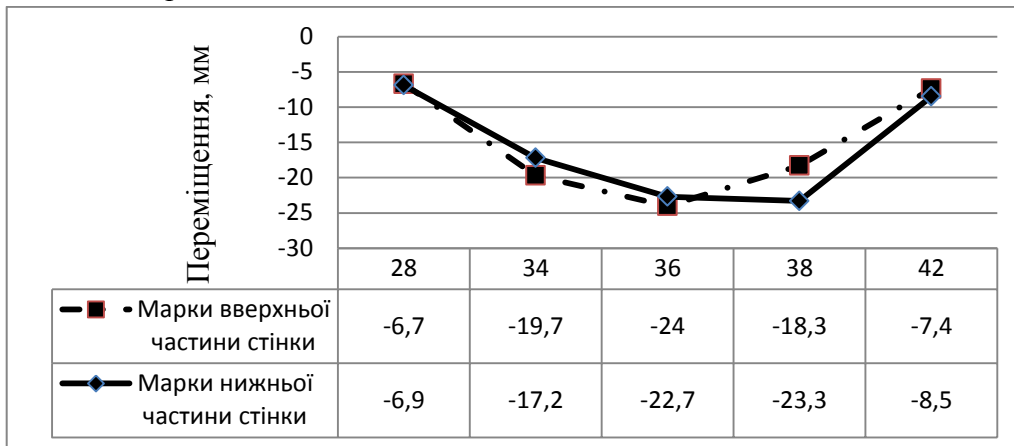


Рис. 4. Результати вимірювань зміщень деформаційних марок підірної стінки вздовж координатної осі ОХ за $t_1 = -20$ °C

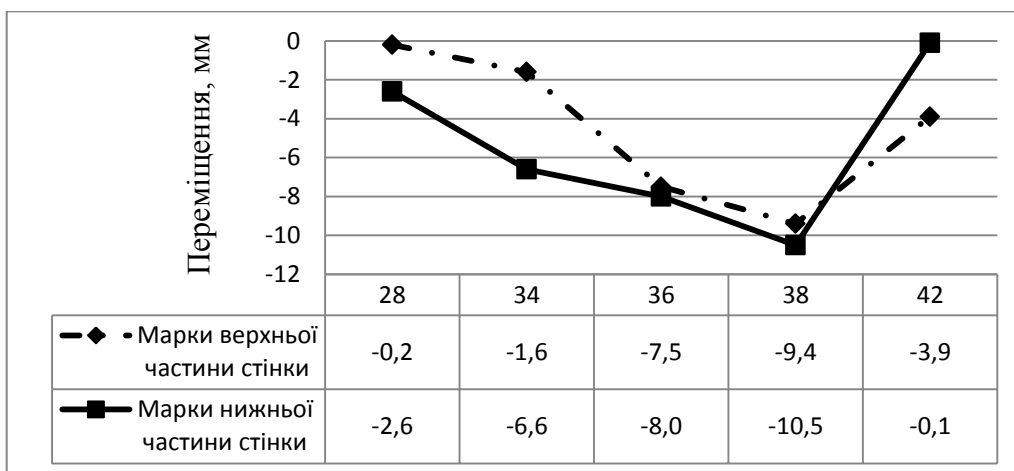


Рис. 5. Результати вимірювань зміщень деформаційних марок підірної стінки вздовж координатної осі ОХ за $t_2 = +25$ °C

Проаналізувавши отримані результати спостережень, доходимо висновку, що точки верху та низу стінки переміщуються по-різному, оскільки вони не знаходяться на одній вертикалі. Ці переміщення зумовлені неоднорідною будовою стінки, що складається з буронабивних паль, розміщених у два ряди з кроком 1 м між осями в шаховому порядку, а простір між ними заповнено ґрунтом.

Будь-який процес вимірювання залежно від умов, в яких його виконують, пов'язаний з похибками, котрі спотворюють уявлення про дійсне значення вимірюваної величини, тому виникає потреба оцінити вплив температурних деформацій на точність виконання геодезичних робіт.

Оскільки предметом дослідження є переміщення марок, то середня квадратична похибка (СКП) їх визначення дорівнює

$$\begin{cases} m_{\Delta x,y} = m_{x,y}\sqrt{2} \\ m_{\Delta h} = m_h\sqrt{2} \end{cases}$$

Якщо до наведеного виразу застосувати критерій впливу систематичних похибок, то результати вимірювання не будуть спотворені похибкою внаслідок зміни температури за умови, що [11]

$$\frac{\delta_{\text{темп}}}{m_{\Delta x,\Delta y,\Delta h}} \leq \frac{1}{3} \tag{2}$$

Згідно з результатами розрахунків вважатимемо, що $m_x = 4,3$ мм.

Скористаємось виразом (2) для оцінювання впливу температурних деформацій будівельних конструкцій на СКП розміщення марок вздовж осі ОХ:

$$\frac{\delta_{\text{темп}}}{4,3} \leq \frac{1}{3};$$

$$\delta_{\text{темп}} \leq 1,4 \text{ мм.}$$

Отже, результати вимірювання положення деформаційних марок не будуть спотворені, якщо величина температурних деформацій не перевищує 1,4 мм.

Згідно з теоретично розрахованими температурними переміщеннями деформаційних марок максимальних зміщень зазнає верхня частина підпірної стінки $\delta_{\text{темп}} = -2,9$ мм за $t_1 = -20$ °С, а за $t_2 = +25$ °С - $\delta_{\text{темп}} = 1,9$ мм, тобто результати вимірювання спотворені похибкою за зміну температури.

Для визначення реальної деформації підпірної стінки треба брати до уваги температурні переміщення деформаційних марок (рис. 6.).



Рис. 6. Врахування впливу температурних деформацій для визначення деформацій підпірної стінки

Висновки. Для розроблення точної математичної моделі обчислення переміщень, спричинених сезонною змінною температури зовнішнього середовища, слід застосовувати методи будівельної механіки, що з достатньою точністю описують поведінку конструкції. У роботі запропоновано розрахункову і математичну моделі підпірної стінки та виконано обчислення її температурних деформацій на момент виконання геодезичного моніторингу. Використовуючи запропоновану математичну модель підпірної стінки (1), можна обчислювати температурні переміщення за будь-якої наперед заданої величини температури, що сприятиме скороченню обсягу польових геодезичних робіт та підвищенню

якості інженерно-геодезичного забезпечення будівництва. Обґрунтовано потребу у врахуванні температурних деформацій під час геодезичного моніторингу шляхом введення поправок за зміну температури у виміряні переміщення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Адаменко О.В.* Методи розрахунку точності геодезичних робіт при зведенні мостів шляхом моделювання напружено-деформованого стану [Текст]: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.24.01/ О.В. Адаменко. – К., 2012. – 18 с.
2. *Білоус М.В.* Розроблення методики спостережень за переміщеннями тунелів метрополітену на стадії будівництва: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.24.01/ М.В. Білоус. – К., 2011. – 16 с.
3. *Чибіряков В.К.* Загальний підхід до моделювання точності геодезичних робіт при проведенні моніторингу лінійних споруд / В.К. Чибіряков, В.С. Староверов, К.О. Нікітенко// Інженерна геодезія. – 2011. – Вип. 57. – С. 56-67.
4. *Раинкин В.Я.* Определение координат точек башенных сооружений при воздействии солнечной радиации и ветровой нагрузки / В.Я. Раинкин // Инженерная геодезия. – 1988. – Вып. 31. – С. 68 – 71.
5. *Міщенко Н.О.* Визначення крену високих споруд, зумовленого впливом однобічного сонячного нагрівання / Н.О. Міщенко // Інженерна геодезія. – 1992. – Вип. 36. – С. 82-84.
6. *Лобов М.И.* Влияние неравномерного теплового нагрева на крен дымовых труб / М.И. Лобов, П.И. Соловей // Инженерная геодезия. – 1982. – Вып.25. – С. 59 – 62.
7. *W.F. Teskey, R.S. Radovanovic, B. Paul, R.G. Brazeal (2004)* Measurement of Temperature-Induced Deformations in a large roof structure / 1st FIG International symposium on engineering surveys for construction works and structural engineering, United Kingdom.
8. *M.J. Henriques, P.V. Mateus, P. Palma, H. Cruz (2008)* Modelling the behavior of large span glulam arch of Atlántico Pavillion / 4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering / 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis, Lisbon.
9. *Шульц Р. В.* Статистическое исследование перемещений подпорных стенок по результатам геодезических измерений/ Р.В. Шульц, А.А. Анненков, А.М. Хайлак, В.С. Стрилец // Вестник СГУГиТ. – 2014. – Вып. №3 (27). – С. 21 – 39.
10. *Чибіряков В. К.* Аналіз сучасного стану проблеми врахування впливу температурних деформацій будівельних конструкцій під час виконання геодезичних вимірювань / В.К. Чибіряков, Р. В. Шульц, О. П. Ісаєв, В. С. Стрилец// Інженерна геодезія. – 2013. – Вип.59. – с. 23 – 31.
11. *Кемниц Ю.В.* Теория ошибок измерений / Ю.В. Кемниц. – М.: Недра, 1967. – 175 с.

REFERENCES

1. *Adamenko O.V.(2012)* Metody rozrakhunku tochnosti heodezychnykh robit pry zvedenni mostiv shliakhom modeliuvannia napruzhenodeformovanoho stanu [Methods of calculating the accuracy of geodetic work during the construction of

bridges by modeling stress-strain state]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

2. Bilous M.V. (2011) Rozroblennia metodyky sposterezhen za peremishchenniamy tuneliv metropolitenu na stadii budivnytstva [Develop methods of observation the movements of the subway tunnel during the construction phase]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Kyiv [in Ukrainian].

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

4. Raynkyn V.Ya. (1988) Opredelenye koordynat toчек bashennykh sooruzheniy pry vozdeistviy solnechnoi radyatsyy y vetrovoi nahruzky [Determination of the coordinates of points tower constructions under the influence of solar radiation and wind load]. *Ynzhenernaia heodeziya – Engineering geodesy*, 31, 68-71 [in Russian].

5. Mishchenko N.O. (1992) Vyznachennia krenu vysokykh sporud, zumovlenoho vplyvom odnobichnoho soniachnoho nahrivannia [Definition of heel high buildings, because of the one-sided solar heating]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 36, 82-84 [in Ukrainian].

6. Lobov M.Y. (1982) Vliyanye neravnomernoho teplovoho nahreva na kren dymovykh trub [The impact of uneven thermal heating on hell smoke pipes]. *Ynzhenernaia heodeziya – Engineering geodesy*, 25, 59-62 [in Russian].

7. W.F. Teskey, R.S. Radovanovic, B. Paul, R.G. Brazeal (2004) Measurement of Temperature-Induced Deformations in a large roof structure / *1st FIG International symposium on engineering surveys for construction works and structural engineering*, United Kingdom.

8. M.J. Henriques, P.B. Mateus, P. Palma, H. Cruz (2008) Modelling the behavior of large span glulam arch of Atlántico Pavillion / *4th IAG Symposium on Geodesy for Geotechnical and Structural Engineering / 13th FIG Symposium on Deformation Measurement and Analysis*, Lisbon.

9. Shults R. V., Annenkov A.A., Khailak A.M., Strilets V.S. (2014) Statystycheskoe yssledovanye peremeshcheniy podpornukh stenok po rezul'tatam heodezycheskykh yzmereniy [Statistical research of displacement of retaining walls based on the results of geodetic measurements]. *Zhurnal «Vestnyk SHUHyT»*. – *Journal «Newsletter SGUGiT»*, 3(27), 21-39 [in Russian].

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

11. Kemnyts Yu.V. (1967) *Teoriya oshybok yzmereniy [The theory of measurement errors]*. Moskva: Nedra [in Russian].

В.С. Стрилец

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ
ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА**

В статье рассмотрена и проанализирована актуальность проблемы влияния температурных деформаций на результаты геодезических измерений. Предложено для определения температурных деформаций защитных сооружений сочетать методы строительной механики с результатами геодезических измерений. Приведена расчетная модель подпорной стенки в виде стержня с жестким защемлением. Для расчета температурных деформаций подпорной стенки использован метод перемещений. Теоретические перемещения стержневой модели вычислено путем решения дифференциальных уравнений, описывающих НДС конструкции под действием температуры. Обоснована необходимость учета температурных перемещений деформационных марок в результаты геодезических измерений.

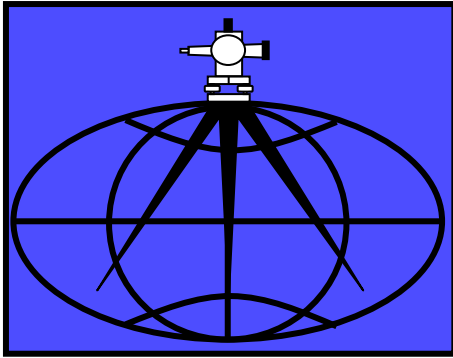
Ключевые слова: температурные деформации, напряженно-деформированное состояние (НДС), геодезический мониторинг.

V. Strilets

**INFLUENCE OF TEMPERATURE DEFORMATIONS OF DEFENSIVE
STRUCTURES ON THE RESULTS OF GEODETIC MONITORING**

In the article is discussed and analyzed the problem of impact of temperature deformations on the results of geodetic measurements. It was found that there is no single method to account for temperature deformations of building structures during the construction of complex structures. Considering temperature deformations during geodetic monitoring of high-rise buildings, complex or experimental structures, should be developed by the project section of geodesic works or even specific project. In the article proposed to combine the methods of structural mechanics with the results of geodetic measurements for defining of temperature deformations of defensive structures. Brought calculation model retaining wall in the form of a rod with a rigid jamming. Deflection method was used to calculate the thermal deformations of retaining wall. Theoretical movement of the rod models calculated with using of differential equations that describe the stress-strained state of construction under the temperature influence. Effective numerical method, which solve boundary value problems for systems of ordinary differential equations SK Godunov, was used to solve this problem. Justified the necessity of taking into account the temperature displacement of deformation control benchmarks, in the results of geodetic measurements.

Key words: temperature deformation, stress-strained state, geodetic monitoring.



КАДАСТР І МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

УДК 332.85 + 332.334.4:711.58

Ю. М. Чобану, канд. техн. наук, доцент
кафедри землеустрою, кадастру та геоінформатики ВСП ІНУ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ДОСЛІДЖЕННЯ ВАРТОСТІ ЖИТЛОВОЇ НЕРУХОМОСТІ

Зважаючи на особливості житлової нерухомості як соціальної й економічної категорії, в роботі досліджено методичні підходи до формування структури вартості житлової нерухомості відповідно до її земельної складової. На відміну від офісної, торгової і промислової нерухомості, житлова нерухомість найбільш чітко відображає містобудівну цінність території, оскільки в її загальній вартості не враховується вартість бізнесу. У вартості житлової нерухомості закладено споживчі властивості території, собівартість будівництва і прибуток забудовника. На основі результатів дослідження запропоновано модель вартості новозбудованої і побудованої за часів УРСР житлової нерухомості відповідно до розміщення або земельного компонента.

Ключові слова: житлова нерухомість, вартість, земельна складова.

Вступ. Зростання питомої ваги міського населення призводить до загострення житлових проблем, які потребують вирішення. Останнім часом спостерігається тенденція до розв'язання проблеми будівництва нового житла шляхом ущільнення наявної забудови або внаслідок розростання міста та поглинання інших населених пунктів. В обох випадках до просторових проблем формування нового середовища додаються правові й економічні проблеми. Крім того, обмеженість земельних ресурсів в умовах їх платного використання значно ускладнює механізми регулювання житлових відносин та призводить до збільшення вартості житлової нерухомості. У зв'язку із цим набуває актуальності дослідження структури вартості об'єктів житлової нерухомості з урахуванням земельної складової.

Аналіз досліджень і публікацій. Вітчизняні вчені-економісти, такі як І. Балабанов, Бузирев, Л. Гітгіс, І. Геллер, С. Грибовський, О. Гриценко, А. Євтух, О. Кирилов, Ю. Манцевич, Р. Моїсеєнко, О. Мухін, Л. Омелянович, Ю. Паливода, Т. Плішко, І. Рахман, В. Руденко, А. Садеков, а також зарубіжні вчені А. Салліван, І. Рахман, Дж. Фрідман, Н. Ордуей, Г. Харрісон, О. Пчелінцева та інші досліджують

формування ринку житла, питання взаємодії попиту і пропозиції на цьому ринку, державної політики у сфері фінансування житлового будівництва, удосконалення ефективного функціонування житлово-комунального господарства, тобто суто економічні аспекти без урахування земельної складової у вартості житлової нерухомості різних типів.

Постановка завдання. На основі комплексного підходу та зважаючи на особливості житлової нерухомості як соціальної й економічної категорії дослідити методичні підходи до формування структури вартості житлової нерухомості з урахуванням земельної складової.

Основна частина. Наведемо результати аналізу законодавчих актів щодо структури вартості житлової нерухомості. Згідно з дослідженнями [1] вартість квартири має такі складові: 1) вартість землі для зведення будинку (на думку експертів, становить у середньому 25% прямих витрат, а в центральній частині міста й до 50 %), на підведення комунікацій – 10-15%; 2) виплати за кредитами – 5 %; 3) узгодження проекту в органах державної влади та прискорення його розгляду – 10-20 % собівартості будівництва; 4) будівництво (будматеріали, зарплати робітникам, витрати на техніку та інші витрати) - 45%, максимум – 60% собівартості житла; 5) прибуток продавця квартири (інвестора й агентства з продажу нерухомості) - 60%.

Структура собівартості житла має такий вигляд [1]: 1) вартість будівельних матеріалів — від 45 до 60%; 2) експлуатація машин і механізмів — від 10 до 15%; 3) витрати на заробітну плату персоналу — від 25 до 30%; 4) утримання адміністративного апарату, охорони, зведення тимчасових огорож і під'їзних шляхів, підведення тимчасових енергомереж, водопроводу тощо — 16-18% собівартості; 5) рентабельність будівельного бізнесу – 10—15%.

Стосовно вартості спорудження житла варто зауважити, що відповідно до законодавчих актів [2; 3] Мінрегіонбудом здійснюється регулювання і контроль кошторисної нормативної бази, визначення порядку її застосування і дотримання під час будівництва.

Згідно зі статтею 17 [4] вартість будівництва визначається відповідно до державних кошторисних норм, які є обов'язковими під час здійснення будівництва об'єктів із залученням державних коштів. Зокрема, мінімальним показником собівартості спорудження житла, який щороку визначає Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України і на який орієнтована вартість соціального житла, є показник опосередкованої вартості спорудження житла.

Зазначений показник складається окремо для регіонів України, м. Києва та м. Севастополя (від 2014 р. за винятком тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини зони проведення антитерористичної операції) та відображає безпосередні витрати на будівництво житлового будинку, такі як загальнобудівельні роботи, улаштування в житловому будинку інженерних систем, монтаж і вартість інженерного обладнання, електромеханічного та іншого устаткування, роботи з благоустрою та спорудження внутрішньомайданчикових інженерних мереж, витрати на

проектування, затвердження проекту та організації будівництва, а також прибуток підрядника, податки, збори та обов'язкові платежі, визначені законодавством.

Крім того, до показників опосередкованої вартості додаються обґрунтовані витрати, пов'язані з освоєнням будівельного майданчика (витрати на запобігання явищам техногенного характеру (зсуви, карсти, просідання тощо), знесенням будівель і споруд з компенсацією попередньому власнику, а також з розвитком соціальної та інженерно-транспортної інфраструктури населених пунктів [5].

Зважаючи на викладене, можна дійти висновку, що офіційно затвержені документи, які регламентують вартість житлової нерухомості, не відображають земельної складової.

В основі визначення повної вартості будівництва лежить розрахунок витрат, пов'язаних з безпосереднім будівництвом та задачею об'єкта замовнику. У зв'язку з цим у загальному вигляді структура вартості будівництва житлової нерухомості може бути виражена таким чином:

$$B_b = P_b + H_b + I, \quad (1)$$

де B_b – вартість будівництва; P_b - прямі витрати - капітальні витрати, безпосередньо пов'язані з будівництвом фізичних об'єктів. До прямих будівельних витрат належить повна кошторисна вартість будівельно-монтажних робіт, яка безпосередньо охоплює таке: 1) прямі витрати - заробітна плата основних будівельних робітників, будівельні конструкції та матеріали, а також витрати на експлуатацію будівельних машин і механізмів; 2) накладні витрати - транспортні витрати, витрати на утримання управлінського апарату тощо розраховують за нормативами у відсотках до прямих витрат; 3) прибуток підрядної будівельно-монтажної організації, який встановлюють у відсотках щодо повної собівартості будівельно-монтажних робіт, зазначають у підрядних договорах й оплачується замовником (інвестором).

H_b - непрямі витрати – це витрати на будівництво, які не входять до підрядного будівельного договору, зокрема такі: проектно-вишукувальні роботи; оцінка, консалтинг, бухгалтерський облік та юридичні послуги; витрати на фінансування за кредитні кошти; страхування усіх ризиків; податкові платежі протягом будівництва; витрати на освоєння; маркетингові витрати, комісійна винагорода за продаж, передачу прав власності; адміністративні витрати девелопера (забудовника) та ін.

I – інвестиційний інтерес - частина ринкової вартості будівлі, яка являє собою суму підприємницького прибутку, що виникає під час виконання будівельних робіт і компенсує ймовірні ризики; може бути визначений, як різниця між ціною продажу або ринковою вартістю об'єкта і загальними витратами. Інвестиційний інтерес слід відрізнити від прибутку підрядної будівельної організації та її накладних витрат, оскільки вони вже відображені в повній кошторисній вартості будівельно-монтажних робіт. Ця величина встановлюється ринком. Вона відображає вигоду від використання капіталу підприємця і є функцією ризику. Звичайно її оцінюють у відсотках від вартості нового будівництва.

Крім того, відповідно до рекомендацій [5] вартість будівництва для новобудов можна відобразити такою формулою:

$$V_{\text{овб}} = V_{\text{збр}} + V_{\text{імб}} + V_{\text{благ}} + V_{\text{пр}} + V_{\text{об}} + \Pi_{\text{п}} + V_{\text{п}} + V_{\text{обм}} + V_{\text{збк}} + V_{\text{ріті}} \quad (2)$$

де $V_{\text{овб}}$ – опосередкована вартість будівництва житлового будинку;

$V_{\text{збр}}$ – загальнобудівельні роботи в будинку;

$V_{\text{імб}}$ – улаштування в житловому будинку інженерних систем, монтаж і вартість інженерного обладнання, електромеханічного та іншого устаткування;

$V_{\text{благ}}$ – роботи з благоустрою та спорудження внутрішньомайданчикових інженерних мереж;

$V_{\text{пр}}$ – витрати на проектування, затвердження проекту;

$V_{\text{об}}$ – витрати на організацію будівництва;

$\Pi_{\text{п}}$ – прибуток підрядника;

$V_{\text{п}}$ – податки, збори й обов'язкові платежі, встановлені законодавством;

$V_{\text{обм}}$ – витрати, пов'язані з освоєнням будівельного майданчика (витрати на запобігання проявам техногенного характеру (зсувам, карстам, просіданням тощо));

$V_{\text{збк}}$ – витрати, пов'язані зі знесенням будівель і споруд та компенсацією попередньому власнику);

$V_{\text{ріті}}$ – витрати, пов'язані із розвитком соціальної та інженерно-транспортної інфраструктури.

На підставі проведеного дослідження й аналізу [6-8] у межах економічного методу оцінювання земель, комбінованого з методом залишку для землі та принципами витратного підходу оцінювання, нами запропоновано математичну модель вартості житлової нерухомості:

$$V_{\text{ж}} = V_{\text{б}} + (x \times \lambda) + I_{\text{п}} + \sum_{j=1}^m \Delta \mathcal{Y}_{\text{ж}}^j, \quad (3)$$

де $V_{\text{ж}}$ – середня вартість 1м^2 житла в певному типі будинку у відповідній зоні містобудівної цінності, грн/м²;

$\sum_{j=1}^m \Delta \mathcal{Y}_{\text{ж}}^j$ – поправка в ціні (+, -) продажу i - житла відносно об'єкта оцінювання за j - фактором порівняння (наявність/відсутність ремонту, меблів, побутової техніки тощо), m – кількість факторів порівняння;

x – величина земельної складової, яка залежить від правового статусу земельної ділянки, розміщення об'єкта оцінювання, витрат на облаштування території, тобто містобудівної цінності території тощо;

λ (α , $K_{\text{м}2}$) – норматив територіаломісткості забудови, котрий відображає площу земельної ділянки у розрахунку на 1м^2 загальної площі будинку залежно від його поверховості (α) та коефіцієнта містобудівної цінності території ($K_{\text{м}2}$). Цей норматив встановлюють відповідно до рекомендацій [9];

$V_{\text{б}}$ – вартість будівництва певного типу житла, грн/м²;

$I_{\text{п}}$ – інвестиційний інтерес або прибуток забудовника, грн/м².

Отже, ринкова вартість об'єктів нерухомості містить складову – місце розташування або земельний компонент як різницю між вартістю об'єкта, визначеною за ринковими підходами до експертної оцінки – доходним або

порівняльним, і вартістю заміщення об'єкта. Земельна складова, або як її ще називають складова місцезорозташування [10; 11], є суттєвою за розміром складовою вартості житла, яка змінюється залежно від розміщення житла та містобудівного середовища, незалежно від його типу.

Якщо об'єкт житлової нерухомості є новозбудованим, вартість будівництва може дорівнювати або бути більшою за опосередковану вартість будівництва житла, яку щороку визначають і затверджують [5]:

$$V_b \geq V_{ovb}. \quad (4)$$

За цієї умови формула (3) матиме такий вигляд:

$$V_{ж} = V_{ovb} + (x \times \lambda) + I + \sum_{j=1}^m \Delta \gamma_j. \quad (5)$$

Та якщо об'єкт житлової нерухомості збудований за часів УРСР, вартість будівництва типових будівель визначають на базі відновної вартості будівлі та відповідно до її фізичної та функціональної придатності за загальновідомим алгоритмом, у такому випадку застосовуємо формулу (6):

$$V_b = V_z = V_{vb} \times K_n \times K_p \times K_I \times \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N \Phi_i \times \frac{P_i}{100}}{100} \right), \quad (6)$$

де V_z – залишкова вартість будівлі з урахуванням фізичного зносу, грн/м², яку визначають за формулою;

V_{vb} – базова ціна, визначають на підставі даних збірника укрупнених показників відновної вартості (ціни 1969 р.);

K_n – коефіцієнт подорожчання (від 1969 до 1984 рр.);

K_p – ринковий коефіцієнт для розрахунку договірних цін;

K_I – коефіцієнт інфляції;

Φ_i – фізичний знос і-го конструктивного елемента, %;

P_i – питома вага і-го конструктивного елемента у вартості будівлі, %;

N – кількість конструктивних елементів.

З огляду на викладене формула (3) матиме такий вигляд:

$$V_{ж} = V_z + (x \times \lambda) + I + \sum_{j=1}^m \Delta \gamma_j. \quad (7)$$

Оцінювання вартості об'єкта нерухомості, наприклад квартири, за витратним підходом ускладнюється виділенням витрат на будівництво однієї квартири з витрат на будівництво житлового будинку загалом. Тому оцінювання вартості об'єкта за витратним підходом ґрунтується на припущенні, що витрати на будівництво розподіляються пропорційно загальній площі квартир. Хоча це припущення є досить умовним, все ж воно дає змогу отримати приблизну оцінку вартості квартири за витратним підходом.

У будь-якому випадку у визначенні вартості житлової нерухомості, відповідно до встановлених Мінрегіонбудом рекомендацій [5], не враховується земельна складова. Для прогнозування ринкової вартості

об'єкта велике значення має безпосередній вплив містобудівної цінності, що відображається структурною одиницею загальної вартості.

Висновки. На відміну від офісної, торговельної і промислової нерухомості, житлова нерухомість найбільш чітко відображає містобудівну цінність території, оскільки в її загальній вартості не враховується ціна бізнесу. У вартості житлової нерухомості закладено споживчі властивості території, собівартість будівництва та прибуток забудовника.

На підставі результатів дослідження запропоновано модель визначення вартості новозбудованої та збудованої за часів УРСР житлової нерухомості з урахуванням складової розміщення або земельної компоненти.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Дорошенко Ю.М.* Закономірності формування та розвитку ринку житлової нерухомості в Україні: дис. ... канд. техн. наук: 05.24.04/ Ю. М. Дорошенко. - К., 2012. - 160 с.
2. *Закон України «Про ціни і ціноутворення»* від 03.12.1990 №507-ХІІ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/5007-17>. – Назва з екрана.
3. *Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про Міністерство будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України»* від 30.04.2014 №197 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/197-2014-%D0%BF>. – Назва з екрана.
4. *Закон України «Про інвестиційну діяльність»* від 18.09.1991 №1560-ХІІ зі змінами від 22.12.2011 № 4218-VІ [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1560-12>. – Назва з екрана.
5. *Наказ Держбуду України «Про затвердження Порядку визначення та застосування показників опосередкованої вартості спорудження житла за регіонами України»* від 27.09.2005 № 174 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z1185-05>. – Назва з екрана.
6. *Мухін О. О.* Ринок нерухомості України: економічні та регіональні аспекти: дис. канд. екон. наук: 08.10.01/ О.О. Мухін. – К., 2005. – 213 с.
7. *Канєєва І. І.* Торгівля житловою нерухомістю та механізм її удосконалення: автореф. дис. ... канд. екон. наук: 08.07.05//І.І. Канєєва; Донецький держ. ун-т економіки і торгівлі ім. М.Туган-Барановського. - Донецьк, 2006. – 18 с.
8. *Ткаченко Р.О.* Організаційно-економічний розвиток регіонального ринку житла (на основі іпотечного кредитування): автореф. дис. ... канд. екон. наук: 08.00.05/ Р.О. Ткаченко; НАН України. Рада по вивч. продукт. сил України. – К., 2008. – 25 с.
9. *Драпиковський О.І.* Оцінка земельних ділянок/ О.І. Драпиковський, О.Б. Іванова. – К.: ПРИНТ-ЕКСПЕРС, 2004. – 296 с.
10. *Завора Т.М.* Формування житлової політики регіону: дис. ... канд. екон. наук: 08.00.05 /Т.М. Завора. – Полтава, 2008. — 264 с.
11. *Фридман Дж.* Анализ и оценка приносящей доход недвижимости/ Дж. Фридман, Н. Ордудэй. – М.: Дело, 1997. – 480 с.

REFERENCES

1. Doroshenko J.M. (2012). Zakonomirnosti formuvannia ta rozvytku rynku zhytlovoi neruhomosti v Ukraini [Regularities of formation and development of residential real estate market in Ukraine]. *Candidate's thesis*. Sumy: SumSU [in Ukrainian].
2. Zakon Ukrainy "Pro tsyny i tsinoutvorennia" The Law of Ukraine "[On Prices and Pricing](http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/5007-17)" (n.d.) zakon.rada.gov.ua/ – Retrieved from: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/5007-17> [in Ukrainian].
3. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy "Pro zatverdzhennia Polozhennia pro Ministerstvo budivnytstva, arkhitektury ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy" [The Decree Cabinet of Ministers of Ukraine "[On Approval of Regulations on Minister of Building and Housing and Communal Services of Ukraine](http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/197-2014-%D0%BF)"] (n.d.) zakon.rada.gov.ua/–Retrieved from: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/197-2014-%D0%BF> [in Ukrainian].
4. Zakon Ukrainy "Pro investitsiiny diialnist" [The Law of Ukraine "[On Investment Activity](http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1560-12)"] (n.d.) zakon.rada.gov.ua/–Retrieved from: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/1560-12> [in Ukrainian].
5. Nakaz Derzhbudu Ukrainy "Pro zatverdzhennia Poriadku vyznachennia ta zastosuvannia pokaznykiv oposeredkovanoi vartosti zhytla za rehionamy Ukrainy" [Decree of Gosstroy Ukraine "On approval of Procedure definition and use of indicators mediated construction cost of housing in regions of Ukraine"] (n.d.) zakon.rada.gov.ua/–Retrieved from: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/z1185-05> [in Ukrainian].
6. Mukhin O.O. (2005) Rynok nerukhomosti Ukrainy: ekonomichni ta rehionalni aspekty [The real estate market of Ukraine: economic and regional aspects]. *Candidate's thesis*. Sumy: SumSU [in Ukrainian].
7. Kaneeva I.I. (2006) Torgivlia zhytlovoiu nerukhomistiu ta mekhanizm ii udoskonalennia [Trade of housing immovables and mechanism of its improvement]. Abstract of Cand. Sci. (Tech.) dissertation, 08.07.05, Donetsk National University of Economics and Trade named after Mykhailo Tugan-Baranovsk Donetsk, Ukraine [in Ukrainian].
8. Tkachenko R.O. (2008) Orhanizatsiino-ekonomichni rozvytok rehionalnoho rynku zhytla (na osnovi ipotechnoho kredytuvannia) [Organizational and economic development of regional real estate market of habitation (on the base of mortgage crediting)] Abstract of Cand. Sci. (Tech.) dissertation, 08.00.05, NAS Ukrainian Rada of Productive Forces study, Kyiv, Ukraine [in Ukrainian].
9. Drapikovskii O.I. . and Ivanova O.B. (2004) Otsinka zemelnykh dilianok, [Assessment of land parcels], Print-ekspers, Kyiv, Ukraine [in Ukrainian].
10. Zavora T.M. (2008) Formuvannia zhytlovoi polityky rehionu [Forming of Housing Policies of a Region]. *Candidate's thesis*. Sumy: SumSU [in Ukrainian].
11. Frydman Dzh. And Orduei Nyk. (1997) Analiz i otsenka prynosiashechi dokhod nedvizhimosti, [Analysis and evaluation of income generating real estate], Delo, Moskov, Russia [in Russian].

Ю.Н. Чобану**ИССЛЕДОВАНИЕ СТОИМОСТИ ЖИЛОЙ НЕДВИЖИМОСТИ**

Учитывая особенности жилой недвижимости как социальной и экономической категории, в работе исследованы методические подходы к формированию структуры стоимости жилой недвижимости с учетом земельной составляющей. В отличие от офисной, торговой и промышленной недвижимости, жилая недвижимость наиболее четко отражает градостроительную ценность территории, поскольку в ее общей стоимости не учитывается цена бизнеса. В стоимости жилой недвижимости заложены потребительские свойства территории, себестоимость строительства и прибыль застройщика. На основании проведенного исследования предложена модель стоимости новопостроенной и построенной во времена УССР жилой недвижимости с учетом составляющей месторасположения или земельного компонента.

Ключевые слова: *жилая недвижимость, стоимость, земельная составляющая.*

Yu. Ciobanu**RESEARCH THE VALUE OF RESIDENTIAL REAL ESTATE**

Given the characteristics of residential real estate, as a social and economic category, we have studied the methodological approaches to the formation of the residential real estate cost structure in view of the land component. In contrast to the office, retail and industrial real estate, residential real estate the most clearly reflects the value of the urban planning area, because its total cost is not considered a business cost. The value of residential real estate laid the consumer properties of the territory, construction costs and profits of the building company. Based on the research, offered a model value of newly constructed and built in the days of the USSR of residential property, taking into account the location of component or components of the land.

Key words: *residential real estate, cost, land component.*

Надійшла до редакції

23.03.2016

**О.А. Бугаєнко, асист. кафедри землеустрою і кадастру
Київський національний університет будівництва і архітектури**

ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕРОЗПОДІЛУ ЗЕМЕЛЬ ПРИ ВПОРЯДКУВАННІ ІСНУЮЧИХ ЗЕМЛЕВОЛОДІНЬ І ЗЕМЛЕКОРИСТУВАНЬ

У статті проаналізовано використання оптимізаційних моделей перерозподілу під час впорядкування існуючих землеволодінь і землекористувань та місце рівноцінного обміну у складі відповідних заходів. Запропоновано здійснювати моделювання перерозподілу з формуванням вимог до рівноцінності перерозподілених земельних ділянок за сукупністю якісних та просторово-технологічних характеристик. Площу земельної ділянки, рівноцінної обмінюваній, у межах заданих проектних масивів із урахуванням зазначених характеристик запропоновано визначати за методом послідовних ітерацій. Наведено розрахунок площі земельної ділянки, рівноцінної обмінюваній, з урахуванням якості ґрунтів і конфігурації земельних ділянок.

Ключові слова: обмін земель, перерозподіл земель, рівноцінна земельна ділянка, оптимізаційна модель.

Вступ. В Україні, як й у більшості країн, перерозподіл земель зумовлений їх обігом, відведенням земельних ділянок для різноманітних цілей та заходами з впорядкування існуючих землеволодінь та землекористувань. Згадані заходи спрямовані на покращення параметрів земельних ділянок, які впливають на ефективність господарської діяльності, екологічний стан ґрунтів і природи, формування сприятливого середовища для життя та здоров'я людей.

У сучасних умовах фрагментованість сільськогосподарських земель, черезсмужжя, далекоземелля, ерозійно небезпечне розміщення меж спричинюють зниження продуктивності земель та родючості ґрунтів, активізацію ерозійних процесів. Отже, просторове впорядкування набуває особливої актуальності, особливо з погляду на можливості здійснення відповідних заходів в межах земельних масивів із залученням великої кількості землевласників. Слід зауважити, що з початком функціонування ринку земель більш ніж вірогідним є зростання необхідності перерозподілу з метою усунення згаданих недоліків у зв'язку із концентрацією черезсмужних земельних ділянок, набутих у результаті укладання договорів купівлі-продажу, у власності однієї особи.

Нині впорядкування існуючих землеволодінь і землекористувань характеризується низькою ефективністю, що свідчить про необхідність аналізу та пошук шляхів оптимізації перерозподілу земель із зазначеною метою.

Аналіз досліджень і публікацій. Питання оптимізації процесу перерозподілу земель із застосуванням математичного моделювання під час впорядкування існуючих землеволодінь і землекористувань розглянуто у працях С.Н. Волкова, А.М. Третьяка, М.Д. Спектора, Р.Г. Кравченко, R. Mihajlovic, M. Miladinovic, M. Šoškić, R. Kik, С.Н.Ј. Lemmen та ін. Загалом у розрізі існуючих

підходів здійснюється моделювання на етапі визначених механізмів перерозподілу земель. Проте зростання вимог щодо уникнення втрат землевласниками в процесі впорядкування земель залишає нерозв'язаною проблему вдосконалення оптимізаційних моделей відповідно до принципів, які б дали змогу підвищити ефективність реалізації вказаних заходів на практиці.

Постановка завдання. Метою дослідження є обґрунтування перерозподілу земель в процесі впорядкування існуючих землеволодінь із застосуванням математичної моделі, яка ґрунтується на обміні земельними ділянками, рівноцінними за сукупністю якісних та просторово-технологічних характеристик.

Основна частина. Впорядкування землеволодінь і землекористувань передбачає не суттєву зміну цільового використання земель, а лише їх частковий перерозподіл між землекористувачами [1]. Залежно від передумов необхідним є покращення взаємного розміщення, оптимізація розмірів, конфігурації, структури земельних масивів (ділянок), їх систем. Заходи з впорядкування землеволодінь і землекористувань повинні включати дослідження проектних земельних масивів, перерозподіл земель шляхом визначення площ окремих земельних ділянок та їх оптимальне розміщення з врахуванням існуючої організації проектною територією [2].

Отже, одним із ключових завдань впорядкування є знаходження найкращих серед можливих варіантів взаємного розміщення землеволодінь та їх параметрів, що доцільно покласти на апарат математичного програмування.

Згідно з однією із класифікацій найбільш поширені математичні моделі, які використовують в землеустрої, поділяють на три групи: кореляційні моделі та виробничі функції, балансові моделі, моделі оптимізації [3]. Моделі оптимізації дають змогу обрати найкращий варіант розвитку системи землекористування [4].

Аналізуючи оптимізаційні моделі перерозподілу, можна зауважити про значну кількість способів формування цільової функції й обмежень залежно від цілей перерозподілу та вихідних умов. Цільова функція може відображати досягнення максимального або мінімально значення певного економічного показника. Дослідження й аналіз формування цільових функцій відповідно до економічного й екологічного ефекту здійснено С.Н. Волковим [4]. Автор виділяє необхідність забезпечення максимальної економічної ефективності сільськогосподарського виробництва та врахування наявних господарських ресурсів. Варта уваги також оптимізація перерозподілу, яка ґрунтується на однофакторних або багатфакторних моделях, коли цільова функція відображає мінімізацію окремих характеристик земельних ділянок, які впливають на ефективність використання земель [2].

Досягнення організації території відповідно до результатів моделювання здійснюється на основі обміну земельними ділянками, в результаті купівлі-продажу, оренди земель. У переважній більшості випадків обмін є ключовим механізмом, за умови обґрунтування рівноцінності обмінюваних земельних ділянок заходи з перерозподілу можна практично реалізувати з високою ефективністю та залученням великої кількості землевласників на проектній території.

Зважаючи на викладене, пропонується включити рівноцінний обмін до складу ключових заходів з впорядкування існуючих землеволодінь і землекористувань, а в основу моделювання перерозподілу земель покласти принцип рівноцінності земельних ділянок до і після реалізації цих заходів (табл. 1).

Таблиця 1

Проведення рівноцінного обміну під час впорядкування існуючих землеволодінь і землекористувань

Основні етапи впорядкування існуючих землеволодінь і землекористувань	Заходи з рівноцінного обміну
Дослідження проектної території	Конкретизація переліку якісних, просторово-технологічних та правових факторів, які впливають на рівноцінність земель відповідно до цілей та умов перерозподілу
Визначення площі окремих перерозподілених земельних ділянок	Включення вимог щодо рівноцінності земельних ділянок до і після перерозподілу до оптимізаційної моделі
Розміщення із врахуванням існуючої організації проектної території	Ітераційне визначення площі земельної ділянки, рівноцінної обмінюваній, з врахуванням заданих параметрів земельної ділянки та проектної території

Згідно з відомими підходами до моделювання перерозподілу зазвичай передбачається обмін земельними ділянками, рівними за площею, з урахуванням якості ґрунту [4] або в межах встановлених допустимих діапазонів коливання вартості [2]. Проте, аналізуючи поняття цінності за основними теоріями [5; 6], під час обміну земель доцільно обґрунтовувати розмір земельних ділянок, визначених як рівноцінні, із урахуванням якісних, просторово-технологічних та правових факторів [6], що може бути відображено при розрахунку [7]. Таким чином, для сільськогосподарських земель, відповідно до виконання ними основної функціональної ролі, оцінюють місце розташування та продуктивність, яка характеризується якістю земель за балом бонітету та просторово-технологічними умовами (конфігурація земельної ділянки, рельєф, рівень залягання ґрунтових вод тощо).

Зазначені положення пропонується включати в процес моделювання на основі усталених підходів. Припустимо, як змінні x_{ij} визначено площі земельних ділянок, сформованих в результаті перерозподілу, а цільова функція має вигляд:

$$F = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m c_{ij} x_{ij} \rightarrow \max ,$$

де c – коефіцієнт цільової функції; n – кількість земельних масивів, залучених до проекту; m – кількість землевласників, залучених до проекту.

Критерій оптимальності може бути визначений у межах відомих підходів: мінімум витрат, максимум прибутку, зменшення відстаней до господарських

дворів тощо. Вимоги пропонується формувати із врахуванням наступного переліку:

1. Земельні ділянки одного землевласника до і після перерозподілу мають бути рівноцінними:

$$\sum_{i=1}^n K_{ij} B_{ij} x_{ij} = \sum_{k=1}^l K_{jk} B_{jk} S_{jk}, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (1)$$

де K_{ij} – коефіцієнт, який характеризує сукупний вплив якісних, просторово-технологічних характеристик земельної ділянки після перерозподілу, визначається як добуток відповідних показників [7]; B_{ij} – середній бал бонітету ґрунтів земельної ділянки j -го землевласника після перерозподілу в межах i -го земельного масиву; K_{jk} – коефіцієнт, який характеризує сукупний вплив якісних і просторово-технологічних характеристик земельної ділянки до перерозподілу [7]; B_{jk} – середній бал бонітету ґрунтів k -ї земельної ділянки j -го землевласника до перерозподілу; S_{jk} – площа k -ї земельної ділянки j -го землевласника до перерозподілу; l – кількість земельних ділянок j -го землевласника до перерозподілу.

2. Загальна площа земель в межах земельного масиву до і після перерозподілу має бути незмінною:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = S_{0i}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

де S_{0i} – площа i -го земельного масиву, залученого до проекту.

3. Загальна площа земель в межах проекту до і після перерозподілу має бути незмінною:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} = \sum_{i=1}^n S_{0i}.$$

4. Конфігурація земельних ділянок в межах проектної території внаслідок перерозподілу має не погіршитися, тобто сумарний показник конфігурації новоутворених земельних ділянок має бути не меншим за сумарний показник конфігурації земельних ділянок до перерозподілу:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} K_{ij} \geq \sum_{k=1}^l S_{jk} K_{jk}, \quad j = 1, 2, \dots, m,$$

де K_{ij} – коефіцієнт, який характеризує конфігурацію земельної ділянки після перерозподілу; K_{jk} – коефіцієнт, який характеризує конфігурацію земельної ділянки до перерозподілу.

Цей коефіцієнт доцільно розраховувати як коефіцієнт відцентрованості [8].

5. Змінні x_{ij} набувають лише невід'ємних значень:

$$x_{ij} > 0.$$

Наведений перелік вимог доповнюється залежно від цілей перерозподілу і вихідних умов. Розміри і параметри земельних ділянок визначаються відповідно до існуючих математичних підходів із застосуванням методів лінійного програмування.

Наступним етапом (див. табл. 1) є розміщення земельних ділянок із врахуванням існуючої організації проектної території, дотримуючись заданих

параметрів. З огляду на викладене виникає необхідність визначення розміру земельної ділянки, рівноцінної обмінюваній, узгоджено із характеристиками як вихідної земельної ділянки, так і земельного масиву, в межах якого виділяється земельна ділянка. При цьому передбачається врахування сукупності факторів, які впливають на рівноцінність.

Зважаючи на неоднорідність ґрунтового покриву стосовно ефективності вирощування основних сільськогосподарських культур, умову рівноцінності земельних ділянок доцільно представити у вигляді рівності [7]:

$$\sum_{k=1}^n S_k B_k = \sum_{j=1}^m S_j B_j, \quad (2)$$

де S_k, S_j – площі, які займають ґрунти кожної з наявних агровиробничих груп в межах обмінюваних земельних ділянок; B_k, B_j – бали ґрунтів відповідних агровиробничих груп; n, m – кількість агровиробничих груп ґрунтів у межах обмінюваних земельних ділянок.

Отже, зважаючи на неоднорідність поширення ґрунтів різних агровиробничих груп в межах кожної із земельних ділянок, виходячи із формули (2), визначення площі S земельної ділянки, рівноцінної обмінюваній, в межах земельного масиву пропонується здійснювати шляхом i послідовних наближень:

$$S^{i+1} = \frac{\sum_{k=1}^n S_k B_k}{B_c^i}, \quad i = 0, 1, \dots, \quad (3)$$

де S_k, B_k – значення площі і балів бонітету n агровиробничих груп ґрунтів в межах заданої земельної ділянки, яка передбачена до обміну; B_c^i – середній бал у межах розрахункової у відповідному наближенні площі земельної ділянки:

$$B_c^i = \frac{\sum_{j=1}^m S_j^i B_j^i}{S^i}, \quad (4)$$

де $S_j^i B_j^i$ – значення площі і балів бонітету m агровиробничих груп ґрунтів, які визначаються при кожному наближенні в межах земельної ділянки площею S^i .

Загальна площа земельного масиву S^0 є вихідним (заданим) значенням.

Таким чином, при ітераційному процесі здійснюється уточнення значення площі S^{i+1} шляхом підставлення у розрахункову формулу (3) середнього балу B_c^i , що при i -й ітерації розраховується для ґрунтових відмін в межах обчисленої площі S^i .

Припустимо, що потрібно виділити із земельного масиву, який включає чотири агровиробничі групи ґрунтів ($B_1=95, B_2=65, B_3=35, B_4=5$), контури ареалів поширення яких відомі (рис. 1), земельну ділянку, рівноцінну обмінюваній ($\sum S_k B_k = 100$).

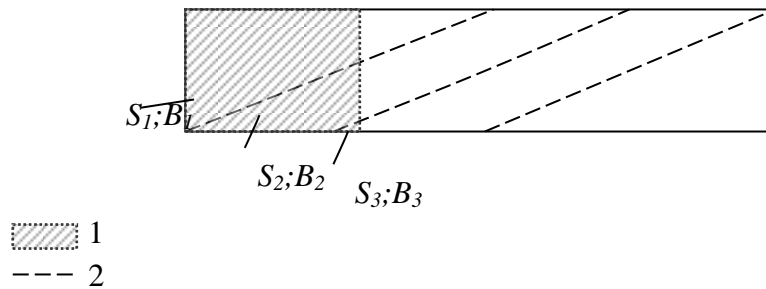


Рис. 1. Визначення рівноцінної земельної ділянки в межах умовного заданого масиву з урахуванням якості ґрунту:

1 – рівноцінна земельна ділянка; 2 – межі агровиробничих груп ґрунтів

Тоді у результаті ітераційного процесу, що здійснюється за формулами (3), (4) (табл. 2), визначено шукану площу $S=1,16$ га, включаючи значення в межах кожної з агровиробничих груп ґрунтів.

Таблиця 2

Ітераційний процес визначення площі земельної ділянки, рівноцінної обмінюваній за якістю ґрунтів

<i>i</i>	<i>S</i> , га	<i>B</i> ₁	<i>B</i> ₂	<i>B</i> ₃	<i>B</i> ₄	<i>B</i> _с	$\Sigma S_k B_k$
		95	65	35	5		
		<i>S</i> ₁ , га	<i>S</i> ₂ , га	<i>S</i> ₃ , га	<i>S</i> ₄ , га		
0	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	50	100,00
1	2,00	1,00	0,75	0,25	0,00	76,25	
2	1,31	0,88	0,41	0,02	0,00	84,69	
3	1,18	0,83	0,34	0,01	0,00	85,85	
4	1,16	0,82	0,33	0,01	0,00	85,95	

Ітераційний процес пропонуємо описувати загальною формулою:

$$S^{i+1} = S^i \frac{\sum_{k=1}^n S_k B_k}{\sum_{j=1}^m S_j^i B_j^i} \tag{5}$$

При цьому можливість виділення земельної ділянки, рівноцінної обмінюваній, із масиву сільськогосподарських земель обмежується умовою:

$$\sum_{k=1}^n S_k B_k < \sum_{j=1}^m S_j^0 B_j^0,$$

що в загальному випадку розрахунку рівноцінних земельних ділянок за описаною методикою відповідає умові збіжності ітераційного процесу.

Ітераційний процес завершується за умови:

$$\left| \sum_{k=1}^n S_k B_k - \sum_{j=1}^m S_j^i B_j^i \right| \leq |\Delta_{ГР}|,$$

де $\Delta_{ГР}$ – граничне значення похибки визначення площі.

У випадку, коли формула (5) розширена шляхом застосування коефіцієнтів, які характеризують технологічні умови, місце розташування

земельної ділянки, обмеження і обтяження її використання, ітераційний процес пропонується здійснювати за формулою:

$$S^{i+1} = S^i \frac{K_0 \sum_{k=1}^n S_k B_k}{K^i \sum_{j=1}^m S_j^i B_j^i}, \quad (6)$$

де K_0 – коефіцієнт, що відображає технологічні умови, місце розташування земельної ділянки та правові обмеження й обтяження її використання, є розрахованим значенням для обмінюваної земельної ділянки, однаковим при кожній ітерації; K^i – коефіцієнт, що відображає технологічні умови, місце розташування земельної ділянки та правові обмеження і обтяження її використання для земельної ділянки площею S^i в кожній ітерації.

Тоді початкова умова реалізації обміну є такою:

$$K_0 \sum_{k=1}^n S_k B_k < K^0 \sum_{j=1}^m S_j^0 B_j^0.$$

Умова збіжності ітераційного процесу:

$$K_0 \sum_{k=1}^n S_k B_k < K^i \sum_{j=1}^m S_j^i B_j^i.$$

Ітераційний процес закінчується при виконанні умови:

$$\left| K_0 \sum_{k=1}^n S_k B_k - K^i \sum_{j=1}^m S_j^i B_j^i \right| \leq |\Delta_{ГР}|,$$

де $\Delta_{ГР}$ – гранична похибка, яка враховує точність визначення площі і розрахунку коефіцієнта K .

Припустимо, потрібно виділити із земельного масиву неправильної конфігурації, що включає чотири агровиробничі групи ґрунтів, контури ареалів поширення яких відомі (рис. 2), рівноцінну обмінюваній земельну ділянку. При цьому обмінювана земельна ділянка має форму квадрата ($K_0=0,84[8]$) площею 2 га, середній бал бонітету ґрунту становить 50 ($\sum S_k B_k = 100$).

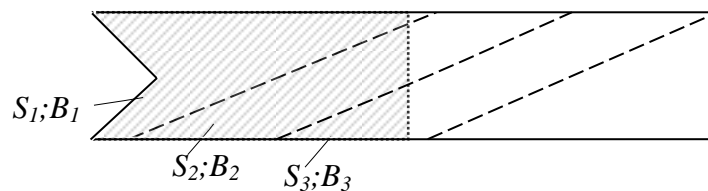


Рис. 2. Визначення рівноцінної земельної ділянки в межах заданого земельного масиву з врахуванням якості ґрунту та конфігурації

Шляхом здійснення п'ятьох послідовних наближень, застосовуючи формулу (6) (табл. 3), визначено шукану площу $S = 1,79$ га, включаючи значення в межах кожної із агровиробничих груп ґрунтів.

Таблиця 3

**Ітераційний процес визначення площі земельної ділянки,
рівноцінної обмінюваній, за сукупним впливом якості ґрунтів та
конфігурації**

<i>i</i>	<i>S</i> , га	<i>B</i> ₁	<i>B</i> ₂	<i>B</i> ₃	<i>B</i> ₄	<i>K</i>	<i>K</i> ₀	$\Sigma S_k B_k$
		95,00	65,00	35,00	5,00			
		<i>S</i> ₁ , га	<i>S</i> ₂ , га	<i>S</i> ₃ , га	<i>S</i> ₄ , га			
0	4,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,61	0,84	100,0
1	2,74	1,00	0,98	0,62	0,14	0,61		
2	2,08	1,00	0,79	0,29	0,00	0,60		
3	1,86	1,00	0,68	0,18	0,00	0,60		
4	1,81	0,99	0,65	0,16	0,00	0,60		
5	1,79	0,99	0,65	0,16	0,00	0,59		

Таким чином, у результаті ітераційного процесу визначено із заданою точністю розмір земельної ділянки, рівноцінної обмінюваній, із урахуванням основних чинників впливу на рівноцінність. При цьому досягнуто заданих параметрів відповідно до сукупності вимог щодо перерозподілу та врахована існуюча організація території. Це в свою чергу підтверджує доцільність застосування рівноцінного обміну згідно із запропонованим підходом [7] при оптимізації перерозподілу земель у складі заходів з впорядкування існуючих землеволодінь і землекористувань.

У такому разі враховується сукупність характеристик, які значною мірою впливають на виробничу здатність (наприклад, конфігурація земельних ділянок), але залишаються поза увагою при розрахунку обміну земельними ділянками, рівними за площами або із врахуванням тільки якості ґрунтів.

Вимога до рівноцінності земельних ділянок за сукупністю визначених характеристик є альтернативою встановленню допустимого діапазону втрати вартості земельної ділянки у результаті перерозподілу, запропонованого R. Mihajlovic [2]. При цьому відповідні моделі з точки зору набору обмежень та формулювання цільової функції є простішими, порівняно із багатофакторними, та враховують більшу кількість чинників, ніж однофакторні. Зауважимо, що запропонований підхід відповідає рекомендаціям ФАО [9] стосовно застосування відносної вартості під час перерозподілу земель у випадках, коли не виникає потреба компенсацій, а ринок земель є млявим або слабкорозвиненим.

Висновки. Визначено заходи щодо рівноцінного обміну, які доцільно здійснювати на основних етапах впорядкування існуючих землеволодінь і землекористувань відповідно до зарубіжного і вітчизняного досвіду. Зокрема, для знаходження параметрів земельних ділянок, згідно з цілями впорядкування, запропоновано застосувати оптимізаційні моделі, побудовані із встановленням обмежень щодо рівноцінності перерозподілених земельних ділянок за сукупністю якісних, просторово-технологічних та правових характеристик. З метою розміщення проектних земельних ділянок в межах земельного масиву

запропоновано визначати площу окремої земельної ділянки, рівноцінної заданим, методом послідовних ітерацій. Наведені розрахунки підтверджують, що запропонований підхід дає змогу визначити із заданою точністю площу земельної ділянки, характеристики якої відповідають умовам рівноцінності, та враховувати при цьому існуючу організацію території.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Научные и методические основы землеустройства* / под ред. М. А. Гендельмана. – М. : Колос, 1978. – 272 с.
2. *Mihajlovic R. Optimization of Land Distribution in Land Consolidation* / R. Mihajlovic, M. Miladinovic, M. Šoškić // *Geodetski list*. – 2011. – №2. – P. 109-121.
3. *Кравченко Р. Г. Экономико-математические методы в организации и планировании сельскохозяйственного производства* / Р. Г. Кравченко, И. Г. Попов, С. З. Толпекин. – 2-е изд. – М. : Колос, 1973. – 528 с.
4. *Волков С. Н. Землеустройство. Экономико-математические методы и модели* / С. Н. Волков. – М. : Колос. Т.4. – 2001. – 696 с.
5. *Семеркова Л. Н. Аксиология маркетинга сельскохозяйственных земель* / Л. Н. Семеркова, Н. Ю. Улицкая // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Общественные науки*. – 2013. – №1(25) – С. 104-116.
6. *Бугаєнко О. А. Дослідження факторів, що впливають на проведення рівноцінного обміну земельних ділянок сільськогосподарського призначення* / О. А. Бугаєнко // *Містобудування та територіальне планування*. – 2015. – № 57. – С.48-54.
7. *Чибіряков В. К. Вдосконалення методики розрахунку рівноцінних земельних ділянок сільськогосподарського призначення при проведенні обміну* / В. К. Чибіряков, М. А. Малашевський, О. А. Бугаєнко // *Інженерна геодезія*. – 2015. – №62. – С.72-79.
8. *Малашевський М. А. Обґрунтування показників конфігурації земельних ділянок під час проведення рівноцінного обміну* / М. А. Малашевський, О.А. Бугаєнко // *Геодезія, картографія і аерофотознімання*. – 2016. – №83. – С.100-111.
9. *FAO. The design of land consolidation pilot projects in Central and Eastern Europe* / FAO. – Rome, 2003. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.fao.org/docrep/006/Y4954E/y4954e00.htm>. – Назва з екрана.

REFERENCES

1. Hendelman, M.A. (Eds.). (1987). *Nauchnyie i metodicheskie osnovy zemleustroystva [Scientific and methodological concepts of land surveying]*. Moscow: Kolos [in Russian].
2. Mihajlovic, R., Miladinovic, M. & Šoškić, M. (2011). Optimization of Land Distribution in Land Consolidation. *Geodetski list*, 2, 109-121.
3. Kravchenko, R. H. Popov, Y. H. & Tolpekyn, S. Z. (1973). *Ekonomiko-matematicheskie metody v organizatsii i planirovanii selskohazyaystvennogo proizvodstva [Economic and mathematic methods of agricultural production organization and planning]* (2d ed.). Moscow: Kolos [in Russian].

4. Volkov S. N. (2001). *Zemleustroystvo. Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli [Land Surveying. Economic and mathematic methods and models]*. (Vol. 4). Moscow: Kolos [in Russian].
5. Semerkova, L. N. & Ulytskaia, N. Yu. (2013). Aksiologiya marketinga selskohozyaystvennykh zemel [Axiology of agricultural land marketing]. *Yzvestiya visshykh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy rehyon. Obshchestvennye nauky – Higher educational establishment proceedings. Povolzhskiy region. Social sciences*, 1(25), 104-116 [in Russian].
6. Bugaienko, O. A. (2015). Doslidzhennia faktoriv, shcho vplyvaiut na provedennia rivnotsinnoho obminu zemelnykh dilianok silskohospodarskoho pryznachennia [The research of factors affecting the peer agricultural land plots exchange]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban construction and territory planning*, 57, 48-54 [in Ukrainian].
7. Chibiriakov, V.K., Malashevskiy, M.A., Bugaienko, O.A. (2015). Vdoskonalennia metody rozrakhunku rivnotsinnnykh zemelnykh dilianok silskohospodarskoho pryznachennia pry provedenni obminu [The development of peer agricultural land plots calculation methodology at the exchange process]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering geodesy*, 62, 85-94 [in Ukrainian].
8. Malashevskiy, M.A. & Bugaienko, O.A. (2016). Obhruntuvannya pokaznykiv konfihuratsiyi zemel'nykh dilyanok pry provedenni rivnotsinnoho obminu [The substantiation of land plot configuration data at peer exchange]. *Heodeziya, kartohrafiya i aerofotoznmannya – Geodesy, Cartography and Aerial photography*, 83, 100-111 [in Ukrainian].
9. FAO. (2003). *The design of land consolidation pilot projects in Central and Eastern Europe*. Rome. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/006/Y4954E/y4954e00.html>.

Е.А. Бугаенко

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬ ПРИ УПОРЯДОЧЕНИИ СУЩЕСТВУЮЩИХ ЗЕМЛЕВЛАДЕНИЙ И ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЙ

В статье проанализировано использование оптимизационных моделей перераспределения при упорядочении существующих землевладений и землепользований и место равноценного обмена в составе соответствующих мероприятий. Предложено осуществлять моделирование перераспределения с формированием требований к равноценности перераспределенных земельных участков по совокупности качественных и пространственно-технологических характеристик. Площадь земельного участка, равноценного данному, в пределах проектных массивов с учетом указанных характеристик предложено определять методом последовательных итераций. Приведены расчеты площади земельного участка, равноценного данному, с учетом качества почв и конфигурации обмениваемых земельных участков.

Ключевые слова: обмен земель, перераспределение земель, равноценный земельный участок, оптимизационная модель.

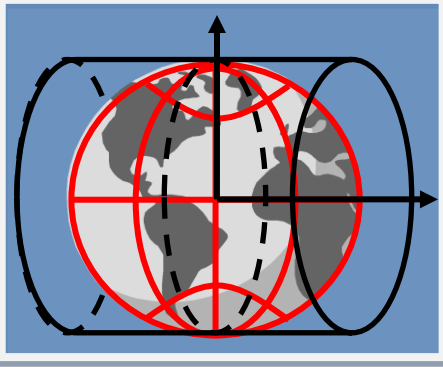
O. Bugaienko**LAND REALLOCATION OPTIMIZATION AT THE EXISTING LAND OWNERSHIP AND LAND TENURE IMPROVEMENT**

At the current stage, the spatial improvement of land tenures and land ownerships aiming at the removal of strip farming, far-away placement or erosion threatening land plot limits is of great importance. It is desirable to consider the ways of land reallocation optimization to improve the effectiveness of the appropriate measures. Land reallocation optimization models and the importance of peer land exchange in the set of the core measures on the existing land ownerships and land tenures adjustment have been analyzed in the research. Land reallocation modelling with the formation of demands to the equivalence of the reallocated land plots by qualitative and spatial and technological characteristics has been suggested. Peer land plot area iteration calculation of plots within the predetermined project area has been suggested. Preconditions to allow the peer land exchange taking into consideration qualitative and spatial and technological characteristics have been defined. Peer land plot area calculation taking into consideration the soil quality and the configuration of land plots to be exchanged has been provided.

Key words: *land exchange, land reallocation, peer land plots, optimization model.*

Надійшла до редакції

30.11.2016



ГЕОІНФОРМАТИКА І КАРТОГРАФІЯ

УДК. 528.001+681.518

*Ю. О. Карпінський, д-р. техн. наук, професор,
директор Науково-дослідного інституту геодезії і картографії,
завідувач кафедри геоінформатики і фотограмметрії,
А. А. Лященко, д-р техн. наук, професор
кафедри геоінформатики і фотограмметрії
Київський національний університет будівництва і архітектури
Ясуюкі Окада, заступник керівника проектної групи українсько-японського
проекту "Створення національної інфраструктури геопросторових даних в
Україні"
Японське Агентство Міжнародного Співробітництва (JICA)*

СКЛАД І ПРИНЦИПИ РОЗРОБЛЕННЯ НАЦІОНАЛЬНОГО ПРОФІЛЮ СТАНДАРТІВ З ГЕОГРАФІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Узагальнено досвід стандартизації географічної інформації в національних і регіональних інфраструктурах геопросторових даних. Обґрунтовано склад і принципи розроблення національного профілю стандартів з географічної інформації для національної інфраструктури геопросторових даних України. Національний профіль орієнтований на підтримання високорівневого концептуального моделювання геопросторових даних, прикладних схем, специфікацій наборів геопросторових даних, метаданих та інших компонентів ІГД на основі базових міжнародних стандартів комплексу ISO 19100.

***Ключові слова:** стандартизація географічної інформації, інфраструктура геопросторових даних, специфікація набору геопросторових даних, геопросторові метадані.*

Вступ. Стандарти належать до ключових компонентів сучасних геоінформаційних технологій та інфраструктури геопросторових даних (ІГД). Рівень інтероперабельності складових ІГД, що характеризує їх здатність до взаємодії, залежить від стандартів, які забезпечують уніфіковану архітектуру систем та інтерфейси (мову, формати і правила) взаємодії як між учасниками, так і між програмно-технологічними компонентами інфраструктури. Оскільки за своєю природою сучасні геоінформаційні технології є міжгалузевими і

глобальним, то географічна інформація та інфраструктура геопросторових даних стали предметом міжнародної стандартизації.

Стандартизація в національних та регіональних ІГД практично усіх країн ґрунтується на комплексі міжнародних стандартів ISO 19100 – «Географічна інформація/геоматика», яке розробляє технічний комітет ISO/TC211, та на специфікаціях Відкритого геопросторового консорціуму OGC. Однак пряме застосування міжнародних стандартів у сфері географічної інформації на національному рівні пов'язане з проблемами, що зумовлені значними мовними, інституційними, технологічними та іншими відмінностями країн у виробництві та використанні геопросторових даних у процедурах прийняття і впровадження міжнародних стандартів як національних. Зазвичай на основі міжнародних стандартів для потреб національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД) розробляють національний профіль, в якому викладають окремі положення базових міжнародних стандартів, потрібних для досягнення необхідної функціональності на певному етапі розвитку НІГД.

У вересні 2015 року за участі Японського Агентства Міжнародного Співробітництва (JICA) і Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру стартував українсько-японський проект «Створення національної інфраструктури геопросторових даних в Україні». Розроблення українського національного профілю стандартів з географічної інформації належить до одного з основних завдань проекту НІГД. В пропонованій статті обґрунтовано підходи до вирішення цього завдання, визначено склад та принципи розроблення профілю стандартів для НІГД України.

Аналіз досліджень і публікацій. Стандартизація географічної інформації та геоінформаційних технологій охоплює велике коло питань, тому що ці технології використовуються у багатьох прикладних сферах, а ГІС складаються із низки (часто незалежних) засобів та модулів, які обслуговують збирання, зберігання і використання даних для моделювання та прийняття рішень в різноманітних предметних сферах.

Технічний комітет ISO/TC211 координує роботу над більш як 70 документами комплексу ISO 19100. Поміж них станом на листопад 2016 року 45 міжнародних стандартів (IS) завершено; 10 документів – на проектній стадії; 30 проектів є активними, тобто переглядаються або розробляються. В більшості документів комплексу ISO 19100 об'єкти стандартизації розглядаються на концептуальному рівні незалежно від технологічних аспектів – методів кодування інформації, структур даних, протоколів взаємодії тощо. Можна сказати, що в стандартах ISO 19100 визначено, що саме треба робити, а не як це робити. Це друге завдання вирішується в стандартах реалізації, розроблення яких належить до сфери діяльності консорціуму OGC. ISO/TC211 та консорціум OGC координують свою діяльність, а стандарти комплексу ISO 19100 та специфікації OGC є узгодженими та взаємодоповнюваними. Зазначимо, що стандарти ISO/TC211 доступні на платній основі, а специфікації OGC розміщено на сайті консорціуму у відкритому доступі.

Основні концепції комплексу міжнародних стандартів ISO 19100 викладено у відкритій настанові ISO/TC211 [5], а питання їх практичного

впровадження розглянуто в багатьох публікаціях. Зокрема, в інструкції видавництва «Springer» [6] досить ґрунтовно викладено методологію досягнення інтероперабельності геопросторових даних та сервісів на основі модельно-орієнтованого підходу та міжнародних стандартів у сфері географічної інформації. У документах [7–10] викладено методичні засади впровадження міжнародних стандартів комплексу ISO 19100 у процесі створення європейської інфраструктури геопросторових даних INSPIRE. В цих публікаціях, поміж іншого, наголошується, що повнота та велика кількість варіантів, доступних у стандартах ISO 19100, ускладнюють їх одночасне поєднання для практичних завдань. Навіть для таких масштабних проєктів, як ІГД, потрібна лише підмножина стандартів ISO 19100. У профілі стандартів для НІГД зазвичай включають обмежений набір положень базових стандартів, мінімально потрібний для вирішення конкретних прикладних завдань на певній стадії створення ІГД, виходячи з ідеї, що користувачам і постачальникам геопросторових даних і систем та розробникам міжгалузевих проєктів простіше узгодити невеликий набір із загальних стандартів, аніж розглядати всю множину вимог цих стандартів.

Постановка завдання. Законом України «Про стандартизацію» [1] визначено пріоритетність прийняття в Україні міжнародних і регіональних стандартів та кодексів ustalеної практики як національних, дотримання міжнародних та регіональних правил і процедур стандартизації, участь в міжнародній та регіональній стандартизації.

Україна є асоційованим членом технічного комітету ISO/TC211 «Географічна інформація/геоматика». Розроблення та гармонізацію стандартів у сфері географічної інформації в Україні здійснює технічний комітет ТК 103, функції секретаріату якого виконує Науково-дослідний інститут геодезії і картографії. У 2011 році опубліковано українською мовою як національний стандарт України перший ідентичний стандарт ДСТУ ISO 19101 «Географічна інформація. Еталонна модель» [2], яким встановлено загальні вимоги і принципи розроблення й розвитку стандартів у сфері географічної інформації в Україні [3; 4]. У зв'язку з активізацією робіт зі створення НІГД України, зокрема в межах українсько-японського проєкту, актуальним є розроблення національного профілю стандартів з географічної інформації на основі комплексу міжнародних стандартів ISO 19100 та зважаючи на досвід вирішення аналогічних завдань у розвинених країнах, в яких уже створені та функціонують національні інфраструктури геопросторових даних.

Основна частина. Інфраструктуру геопросторових даних можна розглядати як середовище інтегрування окремих ГІС, що містять ресурси, якими зацікавлені сторони бажають поділитися (рис. 1). Стандарти потрібні усім базовим суб'єктам НІГД (утримувачам і виробникам геопросторових даних, адміністраторам геопорталів та користувачам) як основа досягнення інтероперабельності в процесах виробництва, зберігання, адміністрування, пошуку, постачання й використання геопросторових даних і метаданих в глобальних інформаційних мережах.

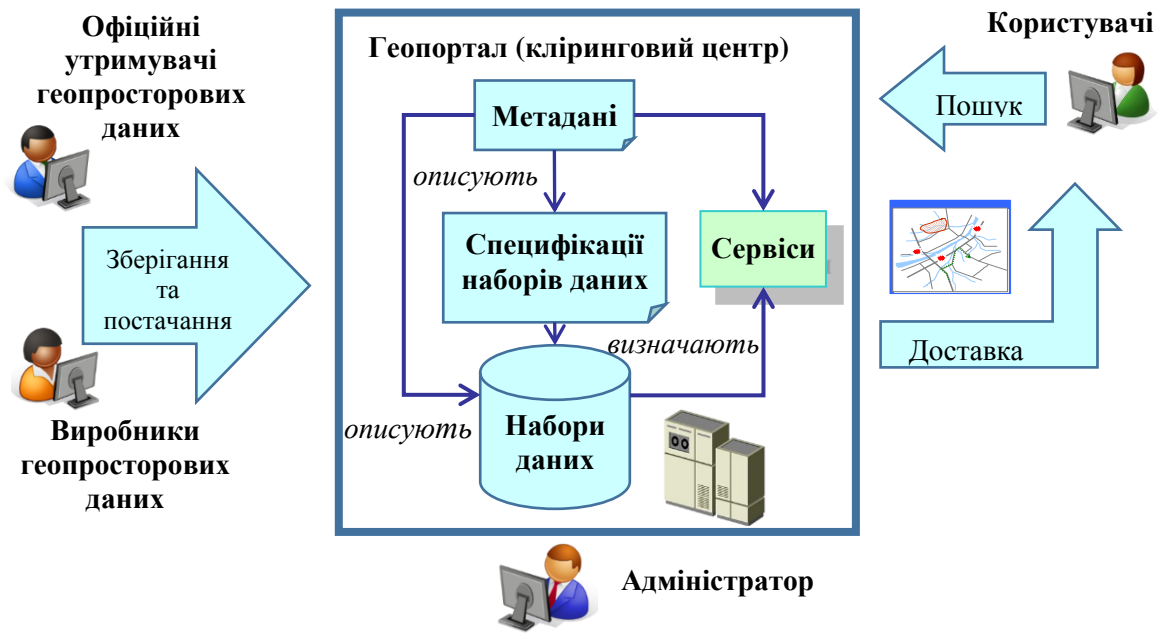


Рис. 1. Узагальнена схема базових суб'єктів, основних компонентів та процесів НІГД

Засоби НІГД повинні забезпечувати простий доступ до геопросторових даних і геоінформаційних сервісів та виконання таких основних функцій, як хостинг геопросторових даних та сервісів, хостинг документації (метаданих та специфікацій) про дані і сервіси, виявлення користувачами даних і сервісів, візуалізація геопросторових даних, оцінювання придатності геопросторових даних і сервісів для вирішення конкретних прикладних завдань, доступ до геопросторових даних і сервісів, веб-опрацювання даних. Проте, як наголошується в документі [7], НІГД не повинна розглядатися як статична структура, в якій запропоновано рішення для певного набору вимог. НІГД – це динамічна структура, яка задовольняє поточні вимоги та водночас генерує нові потреби і рішення. НІГД характеризується як набір варіантів рішень високого рівня, що відображають еволюційний характер інфраструктури, а саме: створення базової ІГД; розроблення нових специфікацій на геопросторові дані і геоінформаційні сервіси, розгортання сервісів і прикладних рішень, їх активізація і стале використання. В контексті завдань стандартизації компонентів НІГД вирізняють два таких основні аспекти, або підходи [7]:

інформаційно-центричний, пов'язаний передусім з питаннями стандартизації моделей геопросторових даних, прикладних схем їх використання та метаданих;

сервіс-центричний, що включає таксономію сервісів, архітектуру та концепцію інтероперабельності сервісів, їх реалізацію, каталогізацію і використання на основі загальних базових стандартів інформаційних технологій та інше.

Оскільки більшість питань сервіс-центричного аспекту є загальними для всіх інфраструктур геопросторових даних, то відповідні технологічні рішення, реалізовані й апробовані в НІГД інших країн, можуть бути безпосередньо

використанні для створення НІГД України. Зважаючи на це, можна визначити, що в контексті створення НІГД України першочерговим завданням національної стандартизації у сфері географічної інформації є розроблення складових інформаційно-центричного аспекту з метою створити умови для виробництва, постачання та використання інтероперабельних наборів геопросторових даних в середовищі НІГД.

Для вирішення аналогічного завдання в проєкті INSPIRE реалізовано підхід, оснований на використанні моделей і відповідних концепціям, що були розроблені асоціацією OMG (Object Management Group) з об'єктно-орієнтованого програмування для ІТ-архітектури, керованої моделями [11]. Автори концепції модельно-керованої архітектури виходили з того, що тривалість технічної реалізації є меншою, ніж термін придатності інформації, з якою вона має справу. Це зумовлює потребу подавати інформацію в спосіб, який дає можливість використовувати нові методи і засоби реалізації, не змінюючи раніше упорядкованої та збереженої інформації.

Комплекс стандартів ISO 19100 сприяє реалізації підходу, оснований на використанні моделей, оскільки згідно із стандартами ISO 19100 географічна інформація описується уніфікованою мовою моделювання UML формальною, незалежною від реалізації прикладною схемою. Способи реалізації для різних методів (наприклад, передавання XML-файлів, веб-сервіси, реляційна або об'єктно-реляційна база даних) та середовищ реалізації (наприклад, J2EE, .Net) можуть бути отримані з прикладної схеми переважно автоматично. Зміни вимог до інформації застосовують до схеми і ніколи безпосередньо до реалізації. Рис. 2 із документа [7] відображає ці принципи.

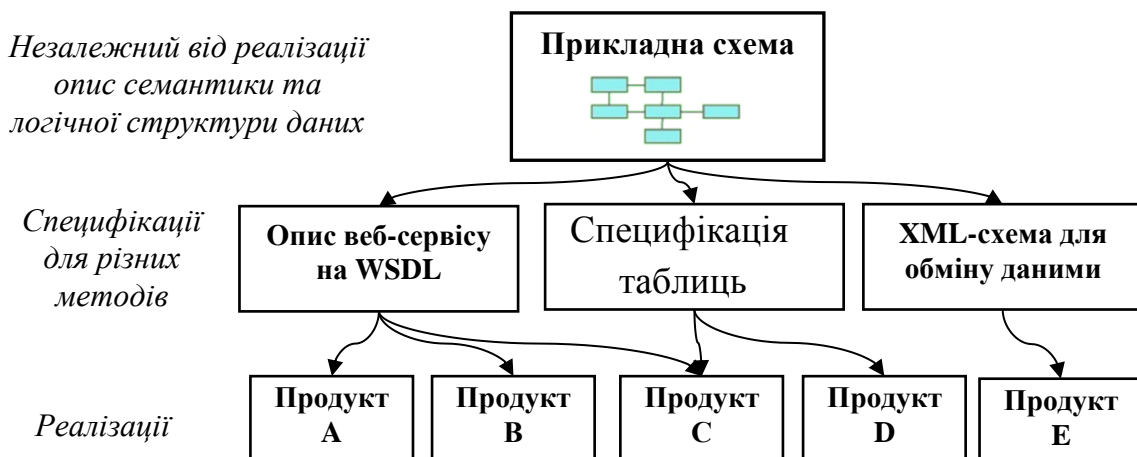


Рис. 2. Оснований на моделях підхід до побудови НІГД

Правила описування прикладних схем наведено в ISO 19109. Прикладні схеми містять семантику для інтерпретації даних, а також моделі структури даних для генерування, наприклад, логічних схем таблиць об'єктно-реляційної бази даних з використанням мови SQL або XML-схем для обміну даними між гетерогенними системами. Згідно з ISO 19109 розроблення прикладної схеми для конкретної предметної сфери має відбуватися за певними правилами. Наприклад,

просторові аспекти повинні бути відображені відповідно до стандарту ISO 19107, часові аспекти – за ISO 19108, а всі класи об'єктів, їх атрибути, асоціації та операції – формально описані та зареєстровані в каталозі об'єктів за правилами згідно з ISO 19110 та ISO 19126.

Для реалізації модельно-керованого підходу в стандартах національних та регіональних ІГД найчастіше розробляють профілі або безпосередньо використовують компоненти міжнародних стандартів комплексу ISO 19100, що забезпечують розроблення прикладних схем та специфікацій для наборів геопросторових даних, а саме:

ISO 19131: Специфікації наборів даних	ISO 19118: Кодування
ISO 19109: Правила для прикладної схеми	ISO 19111: Просторова прив'язка за координатами
ISO 19110: Методологія каталогізації просторових об'єктів	ISO 19112: Просторова прив'язка за географічними ідентифікаторами
ISO 19107: Просторова схема	ISO 19115-1: Метадані. Частина 1: Основи
ISO 19108: Часова схема	ISO 19157: Якість даних
ISO 19123: Схема геометрії та функцій покриття	ISO 19117: Графічне відображення

ISO 19131: 2007 (E) Geographic Information – Data product Specification є базовим стандартом для розроблення специфікацій наборів даних, оскільки саме в ньому, як зображено на рис. 3, визначено склад розділів специфікації та вимоги до їх змісту. Специфікація набору даних – це докладний і точний опис технічних вимог до одного або серії наборів даних. Вона становить основу інформаційного забезпечення процесів створення, постачання і використання геопросторових даних. Специфікація також може допомогти потенційним користувачам в оцінюванні набору даних для з'ясування ступеня відповідності продукту їх вимогам і потребам.

Мінімальний опис набору даних в кожному розділі специфікації формується за вимогами щодо обов'язкових елементів, визначених у відповідних стандартах комплексу ISO 19100. Природно, що розроблення специфікації повинно ґрунтуватися на основоположних принципах еталонної моделі прикладної сфери за ISO 19101 з використанням мови концептуального моделювання за ISO 19103.

Основним розділом специфікації є «Зміст і структура даних», у якому визначають прикладну схему відповідно до ISO 19109 зі схемами просторових об'єктів згідно з ISO 19107, ISO 19123 та ISO 19108 залежно від того, чи містить набір даних векторні дані, сіткові дані або покриття, з урахуванням часових аспектів або без них. Типи об'єктів, їх атрибути, асоціації та операції, визначені в прикладній схемі, подають у вигляді каталогу об'єктів за ISO 19110.



Рис. 3. Розділи специфікації набору даних за ISO 19131 та їх зв'язки з базовими стандартами комплексу ISO 19100

Вимоги до якості даних визначаються відповідно до ISO 19157 та ISO 19115. У вимогах до метаданих вказують стандартні елементи метаданих за ISO 19115, а також можуть бути визначені додаткові елементи метаданих для надання специфічної довідкової інформації про набір даних. Вимоги до форматів кодування даних визначають відповідно до стандартів ISO 19118: Кодування та ISO 19136: GML.

Опис процесу виробництва даних в специфікації не є обов'язковим, достатньо описати фінальний продукт. Проте документ може містити аспекти, пов'язані з виробництвом і підтриманням, за умови, що їх визнано обов'язковими для набору даних.

Специфікація набору даних може бути розроблена і застосована в різних ситуаціях різними сторонами і з різних причин. Наприклад, її можна використовувати на початковому етапі збирання даних, а також для формування наборів на основі вже наявних даних. Специфікація може бути складена виробниками для опису їх продукту або користувачами для викладу своїх вимог. Як приклад докладних і якісних специфікацій на набори даних можна розглядати комплекс із 34 стандартних специфікацій для наборів даних, що визначені в директиві INSPIRE [8 – 10].

Зважаючи на те, що ISO 19131 порівняно невеликий за обсягом документ (лише 48 сторінок), а його розділи і додатки містять мінімально потрібну інформацію для розробників специфікацій наборів геопросторових даних різного

тематичного змісту і призначення, цей стандарт рекомендується прийняти в цілому як національний стандарт за одним з двох методів – методом підтвердження (тобто зі змістом мовою оригіналу та з перекладом лише титульної сторінки) або як національний ідентичний з повним перекладом тексту стандарту національною мовою.

Інші стандарти цієї групи зазвичай приймають за національні методом підтвердження. Хоча в деяких країнах, наприклад у Японії, ці базові стандарти прийняті як національні ідентичні з повним перекладом текстів національною мовою. В будь-якому разі на основі названих базових стандартів розробляють національний профіль геоінформаційних стандартів та/або настанову з розроблення моделей і специфікацій наборів геопросторових даних. Успішну реалізацію такого підходу можна зауважити в проектах НІГД США, Японії, Австралії і Нової Зеландії, інфраструктури країн ЄС INSPIRE, глобальної інфраструктури GSDI тощо. Вони зумовлені такими чинниками:

- стандарти ISO 19100 розроблено з довгостроковою перспективою; більшість з них написані на абстрактному рівні й охоплюють широке коло проблем, для того щоб гарантувати довгострокову стабільність їх застосування;
- для завдань стандартизації виробництва і постачання наборів геопросторових даних потрібні не всі, а лише деякі положення базових стандартів ISO 19100, відповідні особливостям та практичним потребам в геопросторових даних певної країни і сучасному рівню розвитку геоінформаційних технологій;
- поширення стандартів ISO 19100 здійснюється на платній основі;
- компоненти базових стандартів ISO 19100, використовувані для розроблення специфікацій наборів геопросторових даних, повинні бути викладені національною мовою та доступні для всіх потенційних виробників, постачальників і користувачів геопросторових даних на безоплатній основі.

Зважаючи на викладене, для першочергових потреб НІГД України можна рекомендувати розроблення комплексу стандартів у такому складі:

- 1) національний профіль стандартів «Правила моделювання геопросторових даних» з мінімально потрібними компонентами таких базових стандартів: ISO/TS 19103: Мова концептуальних схем; ISO 19109: Правила для прикладної схеми; ISO 19107 Просторова схема; ISO 19108: Часова схема; ISO 19110: Методологія каталогізації просторових об'єктів; ISO 19123: Схема геометрії та функцій покриття; ISO 19111: Просторова прив'язка за координатами; ISO 19112: Просторова прив'язка за географічними ідентифікаторами; ISO 19118: Кодування;
- 2) ISO 19131: Специфікації наборів даних (як національний ідентичний, за методом повного перекладу);
- 3) національний профіль «Метадані» з використанням вимог до мінімального набору метаданих за ISO 19115-1: Метадані. Частина 1: Основи;
- 4) ISO 19157: Якість даних (як національний ідентичний, за методом повного перекладу);
- 5) ISO 19117 Графічне відображення (як національний, за методом підтвердження).

Ці першочергові стандарти призначені передусім для галузевих груп експертів, відповідальних за розроблення специфікацій на виробництво й постачання тематичних наборів даних для своїх галузевих потреб і потреб інших користувачів НІГД.

Для експертів і науковців, залучених до стандартизації географічної інформації, важливими є також інфраструктурні стандарти: ISO 19101-1: Еталонна модель – Основи; ISO/TS 19101-2: Еталона модель – Зображення; ISO/TS 19103: Мова концептуальних схем; ISO 19105: Відповідність і тестування; ISO 19106: Профілі; ISO 19135: Процедури для елементів реєстрації. Залежно від обсягів фінансування програми стандартизації у сфері географічної інформації ці стандарти можуть бути прийняті за методом підтвердження або методом повного перекладу.

Для спільноти розробників програмного забезпечення й адміністраторів даних та геопорталів корисним є знання реалізаційних стандартів (зокрема, ISO 19136: Мова географічної розмітки GML та ISO/TS 19139: Метадані – XML-схема реалізації), а також технічних специфікацій консорціуму OGC, насамперед OGC SFA: Доступ до простих геопросторових об'єктів та специфікації геоінформаційних сервісів. На основі стандартів цієї групи уже реалізовані як пропріетарні, так і відкриті сервіси та програмні засоби введення, конвертування, експорту та імпорту даних і метаданих. Ці стандарти поступово набувають статусу промислових стандартів, а отже, будуть застосовуватися як загально визнані стандарти де-факто.

Висновки. На основі узагальнення досвіду стандартизації в національних та регіональних ІГД обґрунтовано склад та принципи розроблення національного профілю стандартів з географічної інформації для НІГД України. Національний профіль орієнтований на підтримання високорівневого концептуального моделювання геопросторових даних, прикладних схем, розроблення специфікацій наборів геопросторових даних, метаданих та інших компонентів ІГД на основі базових міжнародних стандартів комплексу ISO 19100.

Першочерговими національними стандартами для потреб НІГД України слід вважати такі:

національний профіль стандарту на метадані та реалізаційні стандарти де-факто на геоінформаційні сервіси та формати обміну геопросторовими даними з використанням мови GML, які є основою для створення геопорталів і каталогів метаданих базової НІГД;

національний профіль «Правила моделювання геопросторових даних» та ISO 19131: Специфікації наборів даних для забезпечення розроблення прикладних схем та специфікацій наборів профільних даних;

специфікація набору базових геопросторових даних для забезпечення створення, постачання та використання уніфікованих базових геопросторових даних як основи інтеперабельності всіх профільних даних.

Розроблення та впровадження географічних стандартів в НІГД створює умови для досягнення високого рівня інтеперабельності; підвищення ефективності виробництва геопросторових даних; повторного використання даних багатьма користувачами, що потенційно зменшує сукупні суспільні витрати

на забезпечення геоінформаційними ресурсами; потенційного розвитку ринку геоінформаційних послуг та підвищення прозорості його регулювання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про стандартизацію» // Відомості Верховної Ради (ВВР), 2014, № 31, ст.1058.
2. ДСТУ ISO 19101:2009. Географічна інформація/геоматика: Географічна інформація – еталонна модель. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 37 с.
3. Карпінський Ю. О. Стратегія формування національної інфраструктури геопросторових даних в Україні / Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко. – К.: НДІГК, 2006. – 108 с. (Сер. «Геодезія, картографія, кадастр»).
4. Карпінський Ю. О. Нові підходи до стандартизації та технічного регулювання в сфері географічної інформації / Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко// Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. праць. – Львів: Ліга-Прес, 2004. – С. 283-291.
5. ISO/TC 211 Geographic Information/Geomatics. Standards Guide, 2009. [Online] http://www.isotc211.org/Outreach/ISO_TC_211_Standards_Guide.pdf.
6. Wolfgang Kresse (2012) Springer Handbook of Geographic Information / Wolfgang Kresse, David M. Danko. – Springer Science & Business Media, 2012. – 1120 p.
7. CEN/TR 15449:2006. Geographic information – Standards, specifications, technical reports and guidelines, required to implement Spatial Data Infrastructure.
8. INSPIRE: D2.5: Generic Conceptual Model, Version 3.4rc3, 2013-04-05. [Online] http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/D2.5_v3.4rc3.pdf.
9. INSPIRE: D2.6: Drafting Team "Data Specifications" – deliverable D2.6: Methodology for the development of data specifications, 2008-06-20. [Online] <http://inspire.ec.europa.eu/reports/ImplementingRules/DataSpecifications/D2.6v3.0.pdf>.
10. A Conceptual Model for Developing Interoperability Specifications in Spatial Data Infrastructures / Katalin Toth, Clemens Portele, Andreas Illert, Michael Lutz, Maria Nunes. – Luxemburg: Publications Office of the European Union, 2012 – 55 pp. [Online] <http://inspire.ec.europa.eu/documents/conceptual-model-developing-interoperability-specifications-spatial-data-infrastructures>.
11. OMG, 2003. Object Management Group, Model Driven Architecture Guide Version 1.0.1. [Online] <http://www.omg.org/mda/>.

REFERENCES

1. Zakon Ukrainy "Pro Standardizatsiu" (2014) [Law of Ukraine "On Standardization"] *Vidomosti Verchovnoi Rady (VVR)*, (issue 31, art. 1058, 2014) [in Ukrainian].
2. DSTU ISO 19101:2009. Geografichna informatsia/geomatyka: Geografichna informatsia – Etalonna Model [Geographic information / Geomatics: Geographic information – reference model], (37 p.). Kyiv: Dergspogyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].
3. Karpinskyi Yu. O., Lyashchenko A.A. (2006) Strategia formuvannia natsionalnoi infrastruktury geoprostorovykh danykh v Ukraini [Strategy formation of

national geospatial data infrastructure in Ukraine], (108 p.). Kyiv: NDIGK. (Ser. "Geodesy, cartography, cadastre") [in Ukrainian].

4. Karpinskyi Yu. O., Lyashchenko A.A. (2004) Novi pidchody do standartuzacii ta technichnoho reguluvannia v sferi geografichnoi informatsii [New approaches to standardization and technical regulation in the field of geographic information]. *Suchasni dosiahnennia geodezychnoi nauky ta vyrobnytstva – Modern achievements of geodetic science and industry*, (pp. 283-291): Lviv: Lvivska Politehnika [in Ukrainian].

5. ISO/TC 211 (2009) Geographic Information/Geomatics. Standards Guide. [Online] http://www.isotc211.org/Outreach/ISO_TC_211_Standards_Guide.pdf.

6. Wolfgang Kresse, David M. Danko (2012) Springer Handbook of Geographic Information. – Springer Science & Business Media. – 1120 p.

7. CEN/TR 15449:2006. Geographic information – Standards, specifications, technical reports and guidelines, required to implement Spatial Data Infrastructure.

8. INSPIRE (2013): D2.5: Generic Conceptual Model, Version 3.4rc3, 2013-04-05. [Online]

http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/D2.5_v3.4rc3.pdf.

9. INSPIRE (2008): D2.6: Drafting Team "Data Specifications" – deliverable D2.6: Methodology for the development of data specifications, 2008-06-20. [Online] http://inspire.ec.europa.eu/reports/ImplementingRules/DataSpecifications/D2.6_v3.0.pdf

10. Katalin Toth (2012) A Conceptual Model for Developing Interoperability Specifications in Spatial Data Infrastructures / Katalin Toth, Clemens Portele, Andreas Illert, Michael Lutz, Maria Nunes. – Luxemburg: Publications Office of the European Union, 2012 – 55 pp. [Online] <http://inspire.ec.europa.eu/documents/conceptual-model-developing-interoperability-specifications-spatial-data-infrastructures>.

11. OMG (2003). Object Management Group, Model Driven Architecture Guide Version 1.0.1. [Online] <http://www.omg.org/mda/>.

**Ю. А Карпинский,
А. А. Лященко,
Ясуюки Окада**

СОСТАВ И ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ СТАНДАРТОВ ПО ГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Обобщен опыт стандартизации географической информации в национальных и региональных инфраструктурах геопространственных данных. Обоснован состав и принципы разработки национального профиля стандартов географической информации для национальной инфраструктуры геопространственных данных Украины. Национальный профиль ориентирован на поддержание высокоуровневого концептуального моделирования геопространственных данных, прикладных схем, спецификаций наборов геопространственных данных, метаданных и других компонентов ИГД на основе базовых международных стандартов комплекса ISO 19100.

Ключевые слова: стандартизация географической информации, инфраструктура геопространственных данных, спецификация набора геопространственных данных, геопространственные метаданные.

**Yu. O. Karpinskyi,
A. A. Lyashchenko,
Yasuyuki Okada**

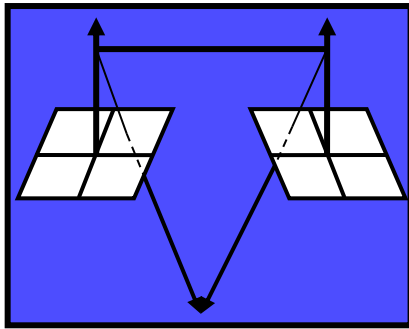
STRUCTURE AND PRINCIPLES DEVELOPMENT OF NATIONAL PROFILE STANDARDS OF GEOGRAPHIC INFORMATION

Summarized the experience of standardization of geographic information in national and regional geospatial data infrastructures. Substantiated structure and principles of development of the national profile of geographic information standards to the national geospatial data infrastructure of Ukraine. The national profile is aimed at maintaining a high-level conceptual modeling of geospatial data, application schemes, geospatial dataset specifications, metadata and other SDI components based on base international standards of series ISO 19100.

***Keywords:** standardization of geographic information, spatial data infrastructure, spatial dataset specification, spatial metadata.*

Надійшла до редакції

01.12.2016



ФОТОГРАМЕТРІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

УДК 528.74:72

*В.О. Катушков, д-р техн. наук, професор
кафедри геоінформатики та фотограмметрії,*

С.Б. Радченко, студент 4-го курсу

Київський національний університет будівництва і архітектури

ВЕКТОРИЗАЦІЯ СПОРУД НА ЦИФРОВІЙ МОДЕЛІ МІСЦЕВОСТІ

Розглянуто особливості практичного застосування цифрової фотограмметричної станції для збирання векторної інформації житлових будинків. Описано організацію та застосування додаткових менеджерів шарів, параметрів. Показано логічність дешифрування дахів та проблемність визначення розбіжності контурів карнизів та фундаментів.

Ключові слова: растрові знімки, векторна інформація, менеджери, шари, параметри, атрибути, шаблони, контури, висоти споруд.

Аналіз досліджень та публікацій. Робота зі значним за обсягом програмним продуктом цифрової фотограмметричної станції (ЦФС) потребує високого рівня оволодіння технологією. У періодичній літературі вдосталь посилянь на кінцевий результат робіт — цифрові карти, ортофотознімки, ортознімки, просторові моделі тощо. Процеси автоматичної векторизації рисунків, креслень, карт, растрових знімків, описані, наприклад, у роботах [1—6], нині є актуальними. Водночас точність і достовірність автоматичної векторизації аерофотознімків є недостатньою для її використання у картографічних роботах і повної заміни нею ручної векторизації.

Постановка завдання. Більшість програмних продуктів, наприклад AutoCad, MapInfo, Topotraser, PhotoModeler, Photoshop тощо, має власні векторизатори та технології обробки. Оператор без належного рівня підготовки, такий як студент-початківець, безперечно, зіткнеться з труднощами, спричиненими недостатнім розумінням процедури векторизації.


Крім того, кожна ЦФС має свою технологію оброблення вихідних даних, а це ще більше ускладнює процес збирання інформації. Провідні фірми-розробники ЦФС досліджують процеси автоматичної векторизації, проте цю проблему досі не розв'язано [9], тому для виконання практичних завдань застосовують переважно ручні або напівавтоматичні методи.


Метою публікації є короткий виклад методичних порад для початківців щодо векторизації растрових знімків на цифровій моделі місцевості, а саме житлових будівель та споруд.


Основна частина. У статті наведено матеріал з векторизації споруд на растрових знімках з розміром пікселя 17 мкм. Система ЦФС «Delta» має декілька режимів збору векторної інформації. На картографічних підприємствах, де потреба у векторизації растрових знімків виникає постійно, система збору, що включає певні шари, параметри та умовні знаки, вже налагоджена і за потреби завантажується до файлу нової карти. У навчальному процесі передбачено самостійне ознайомлення з наявними можливостями збирання та упорядкування основних шарів просторової інформації.

Інформація щодо кожного додаткового шару має специфічні для нього атрибути і параметри, які встановлюють перед початком процесу її збирання. Атрибутивна інформація є відповідною характеру графічних даних: тип лінії, товщина, колір тощо. Параметрична інформація охоплює семантичні дані, тобто метричні і змістові характеристики, які відображені текстом різного накреслення (шрифт, розмір, колір) та умовними знаками.

Новий додатковий шар споруд (будинків) розміщується у менеджері шарів після службових, але перед наявними додатковими шарами. Назва шару (рис. 1) відповідає змісту поданої інформації, наприклад «Будинки».

У шарі будинків (рис. 1, а – ліва піктограма) передбачено виконати збір контурів будинків, що мають такі характеристики: поверховість, матеріал і належність до житлових / нежитлових будівель. При цьому лінія контуру має товщину 0,1 мм, є суцільною прямою чорного кольору – відповідно до вимог інструкції [8]. Тип шару — прозорий полігон без заливки. Контур будинку збираємо за допомогою активного шаблона  з чотирма кутовими точками. Крім шаблона з атрибутами слід створити додатковий параметр у менеджері параметрів (рис. 1, а – права піктограма).

У розгляданому випадку цей параметр представлятиме семантичну інформацію для шару будинків, що охоплює такі дані: кількість поверхів, матеріал будівлі, належність до житлової забудови. Тип, розмір і колір тексту (підпис відповідно до інструкції [8]), задано у менеджері шрифтів, у меню, позначеному піктограмою , яку розміщено у робочому вікні менеджера параметрів. У робочому полі шрифтів треба вказати потрібний шрифт. За інструкцією, крім згаданої інформації, потрібно вводити номер будинку, висоту фундаменту тощо. Під час освітнього процесу набір даних обмежено основною інформацією.

Піктограма  у менеджері шарів (рис. 1, б) слугує для швидкого переходу до менеджера параметрів. У вікні менеджера параметрів слід активувати відповідний параметр для шару будинків, переміщуючи його із загального списку параметрів до списку параметрів шару будинків (рис. 1, в). Після цієї операції шар готовий до збирання даних.

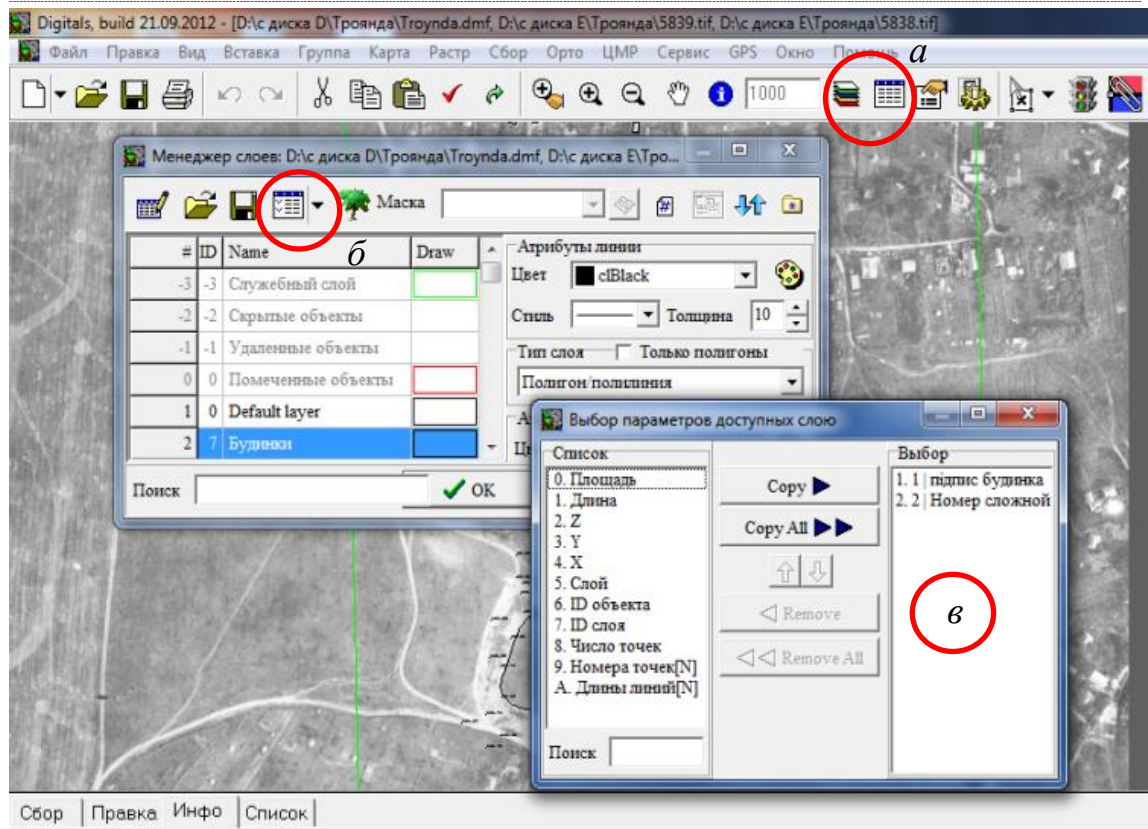



Рис. 1. *a* – менеджери шарів та параметрів; *б* – посилання на менеджер параметрів; *в* – активізація потрібного параметра

Контур будинку визначають шляхом дешифрування зображення його даху. Після наведення курсора на потрібну висоту змінюється величина позовжнього паралакса p .

Кількість поверхів визначають за різницею позовжніх паралаксів Δp , навівши курсор на верхню і нижню точки будинку. Верхня точка розміщена на гребені даху, а нижня – на землі поряд з будинком. У цифровій моделі місцевості замість паралаксів використовують значення координати Z , яку відображено на екрані разом з плановими координатами X та Y .

За різницею двох висот визначаємо висоту будинку. Кількість поверхів становитиме частку від ділення вимірної висоти на три – вважаємо, що висота одного поверху становить три метри, тобто за висоти будинку 6-7 м він матиме один-два поверхи. При цьому варто звертати увагу на тип даху – якщо дах двохилий, то найпевніше, що об’єкт одноповерховий. Підпис будинку містить символ «КЖ». Якщо форма даху ламана, найвірогідніше, що другий поверх будинку житловий, підпис такого об’єкта – «2КЖ».

Для того щоб розмістити підпис на карті, з меню «Правка» потрібно перейти до меню «Інфо». У властивостях обраного об’єкта створити підпис, вказати кількість поверхів об’єкта «КЖ», «2КЖ»... «n КЖ»). Далі потрібно відкрити вікно менеджера підписів за допомогою піктограми  (рис. 2) та ввести потрібний параметр.

Розміщений по центру об'єкта підпис можна переміщувати і повертати, проте найзручніше обрати такий варіант розміщення підпису, щоб не виконувати додаткових дій. У розділі «Орієнтація» менеджера підписів представлено чотири варіанти їх розміщення.

Підпис на будинках відповідно до інструкції [8] має бути розміщений вздовж довшого фасаду. Отже, маркер у відповідному меню повинен вказувати на «Вздовж довгої сторони».

У менеджері підписів (рис. 2) міститься низка типових шаблонів для створення підписів до висотних пікетів, центра об'єкта, поверху, горизонталей, довжини ліній, номерів точок, таблиць.

На рис. 3 у крупному масштабі подано векторизовані контури будинку з встановленими підписами. Довгу сторону програма визначає автоматично.

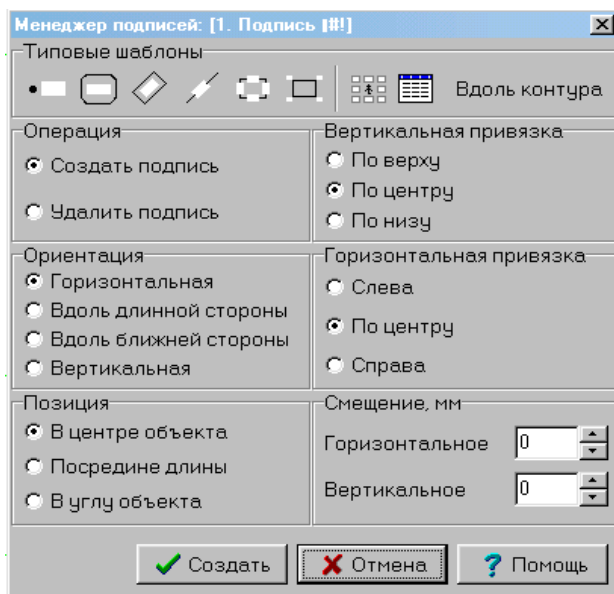


Рис. 2. Менеджер підписів

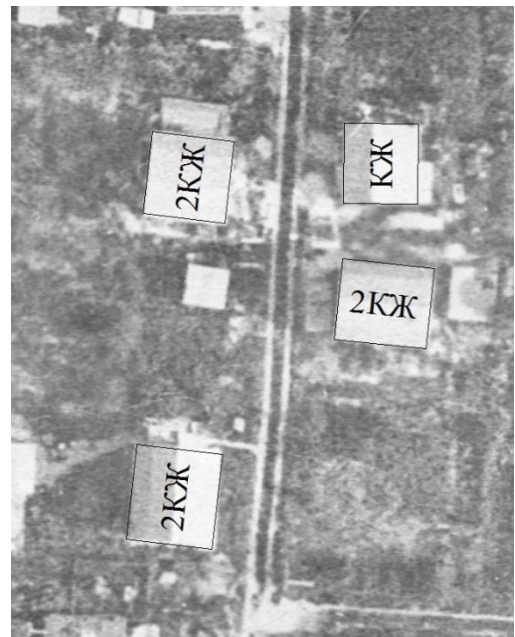


Рис. 3. Векторизація споруд

Послідовність роботи з менеджерами шарів і параметрів є довільною. При цьому слід мати на увазі, що в режимі додавання інформації обидва менеджери повинні бути правильно оформленими, інакше додати інформацію буде неможливо.

Збираючи контури будинків, треба пам'ятати, що на планах зображують контури цоколів, а не контури карнизів дахів. На аерофотознімках контури дахів, на відміну від цоколів, дешифруються добре. Цю неоднозначність можна розв'язати лише за допомогою спостережень на місцевості. Якщо контури цоколя і даху не збігаються, допустимо не виконувати лінійних вимірювань, оскільки помилка 10 см на місцевості для плану з масштабом 1:1000 становить 0,1 мм, тобто відповідна вимогам інструкції.

Висновки

1. У статті викладено методичні рекомендації щодо оптимізації процесу ручного збирання просторової інформації з растрових знімків. Ці рекомендації

покликані допомогти користувачам-початківцям у роботі на цифрових фотограмметричних станціях.

2. Показано, що жодна автоматизована система отримання растрового матеріалу та його опрацювання на ЦФС не дає змоги розв'язати питання розбіжності контурів цоколю та карниза даху житлових і нежитлових будівель. Шлях до розв'язання згаданої неоднозначності – створення бази геопросторових даних, над якою нині працює низка науково-дослідних підприємств.

3. Викладені методичні рекомендації можуть бути використані під час опанування студентами курсу цифрової фотограмметрії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Как из картинки сделать вектор, или трассировка в CorelDraw* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: www.hollada.com.ua/2016/03/coreldraw.html. — Назва з екрана. — Дата звернення 16.05.2016.

2. *Векторизация чертежей в AutoCad* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://autocad-chertezh.dp.ua/> — Назва з екрана. — Дата звернення 16.05.2016.

3. *Сайт поддержки пользователей САПР* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: www.cad.dp.ua — Назва з екрана. — Дата звернення 16.05.2016.

4. *Экран Софт Autodesk. Векторизация* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.elecran.com.ua/sapr/vektORIZATOR> — Назва з екрана. — Дата звернення 16.05.2016.

5. *Збірник укрупнених кошторисних розцінок на топографо-геодезичні та картографічні роботи, затверджені наказом Міністерства екології та природних ресурсів від 19.02.2003 р. № 29/м.* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.geoguide.com.ua/basisdoc/basisdoc.php?part=tgo&art=4401> — Назва з екрана. — Дата звернення 16.05.2016.

6. *Открытие ректифицированных изображений в Delta/Digitals* [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.geosystema.net/help/tag/rastr/> - Назва з екрана. - Дата звернення 16.05.2016.

7. *Научно-производственное предприятие «Геосистема». Новости и анонсы.* [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://vingeo.com/Rus/> — Назва з екрана. — Дата звернення 16.05.2016.

8. *Умовні знаки для топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500 / Мін-во екології та природних ресурсів України.* — К., 2001. — 255 с.

9. *Дорожинский О.Л. Методика автоматического выделения дорог на спутниковых снимках / О.Л. Дорожинский, Р. А. Абдаллах // Інженерна геодезія.* — 2015. — Вип. 62. — С. 98—107.

REFERENCES

1. *Kak iz kartinki sdelat vektor ili trassirovka v CorelDraw* [How to make vector from the picture or tracing in the CorelDraw]. (n.d.). [hollada.com.ua](http://www.hollada.com.ua). Retrieved from www.hollada.com.ua/2016/03/coreldraw.html. [In Russian].

2. Sait “Vektorizatsia chertezhej v AutoCAD” [Site “Drawing vectorization using AutoCad”]. (n.d.). *autocad-chertezh.dp.ua*. Retrieved from <http://autocad-chertezh.dp.ua/> [In Russian].
3. Sait “Sait podderzhki polzovatelej SAPR” [Site “Site of the support of CAD users”]. (n.d.). *cad.dp.ua*. Retrieved from www.cad.dp.ua [In Russian].
4. Elecran Soft Autodesk. Vektorizatsia [Elecran Soft Autodesk. Vectorization]. (n.d.). *elecra.com.ua* Retrieved from <http://www.elecra.com.ua/sapr/vektorizator> [In Russian].
5. Zbirnyk ukрупnenych koshtorysnyh roztsinok na topografo-geodezychni ta kartografichni roboty, zatverdzeni nakazom Ministerstva ekologii ta pryrodnich resursiv Ukrainy vid 19.02.2003 r. № 29/m. [The digest of aggregative estimate standarts for topographic-geodesic and cartographic works, accepted with an order of Ministry of ecology and natural resources of Ukraine at 02/19/2003. № 29/m.]. (n.d.). *geoguide.com.ua*. Retrieved from <http://www.geoguide.com.ua/basisdoc/basisdoc.php?part=tgo&art=4401>[In Ukrainian].
6. Otkrytie rektifitsirovannyh izobrazheniy v Delta/Digitals [Opening of rectified pictures in Delta/Digitals]. (n.d.). *geosystema.net*. Retrieved from <http://www.geosystema.net/help/tag/rastr/> [In Russian].
7. Nauchno-proizvodstvennoe predpriatie “Geosistema”. Novosti i anonsy [Research and Production Enterprise “Geosystem”. News and announces]. (n.d.). *vingeo.com*. Retrieved from <http://vingeo.com/Rus/>. [In Russian].
8. *Symbol book for topographic plans with scale 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500*. (2001). Kyiv, Ukraine: Ministry of ecology and natural resources of Ukraine.
9. Dorozhynskiy, O.L. (2015). Metodika avtomaticheskogo vydeleniia dorog na sputnikovych snimkach [Methodology of automatic detection of the roads on the satellite image]. *Ingenernaia geodeziia — Engineering geodesy*, 62, 98—107 [in Ukrainian].

**В.О. Катусков,
С.Б. Радченко**

ВЕКТОРИЗАЦИЯ СООРУЖЕНИЙ НА ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ МЕСТНОСТИ

Рассмотрены особенности практического использования цифровой фотограмметрической станции для векторизации жилых строений. Описана организация и использование дополнительных менеджеров слоев и параметров. Показана возможность логического дешифрирования поверхности крыши и проблемность несовпадения контуров карнизов и фундаментов.

Ключевые слова: растровые снимки, векторная информация, менеджеры, слои, атрибуты, параметры, шаблоны, контуры, высоты сооружений.

V. Katushkov,
S. Radchenko

VECTORIZING OF THE CONSTRUCTIONS ON THE DIGITAL SURFACE MODEL

The issue of automatic or automatized vectorization of photogrammetric images is quite actual in digital photogrammetry today. Despite some programs and GIS has their own vectorizers for raster images, the quality of this operations is not enough to use it in mapping. Deciphering of contours on the photogrammetric images for mapping is still mostly the task of GIS-operators, including even students. This can be the source of the obstacles in the time of studying or work process to overcome. This obstacles can appear during the work with every layer and can be quite different from time to time. Difference depends on the layer structure and the situation on photogrammetric image and requires experience or guiding to solve it.

The paper studies the matters of practical use of the digital photogrammetric station for the vectorization of the residential buildings. The organization and use of the extra managers of the layers and parameters described. The possibility of the logical detecting of the roof surface and the problem of incongruity of the eaves and foundations contours is shown.

Keywords: *raster images, vector information, managers, layers, attributes, parameters, templates, contours, building altitudes.*

Надійшла до редакції

31.05.2016

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 із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання певної проблеми і на які спирається автор; виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, висвітлюваних у статті; формулювання мети статті: виклад основного матеріалу дослідження з докладним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки за результатами дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

До статті додаються: відомості про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, звання, місце роботи, посада, службова адреса, адреса електронної пошти та контактні телефони).

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

- До розгляду приймають статті, надруковані в одному примірнику на аркушах паперу формату А4 (текст, таблиці, бібліографію друкувати так: поля знизу, зліва та праворуч, – 25 мм, зверху – 20 мм; інтервал «Множитель» 1,15; кегль 12; розмір шрифту анотації – 12; шрифт Times New Roman). Обов'язково слід подати електронну копію статті у форматі Microsoft Word (*.doc).
- Рекомендується, щоб площа, зайнята рисунками, становила 20-25% загального обсягу статті. Всі рисунки слід подавати чорним кольором та обов'язково з підписами.
- На першій сторінці статті у лівому верхньому куті ставиться УДК ..., а праворуч, рядком нижче, вказують ініціали та прізвище автора (грубим шрифтом) разом з інформацією про автора (науковий ступінь, звання, місце роботи, посада), нижче по центру – назва статті грубими великими буквами, потім анотація (мовою статті) курсивом, далі сам текст.
- Обсяг **анотації** українською та російською мовами становить 50 – 100 слів, англійською – 150 – 200 слів. Після кожної анотації наводять ключові слова у називному відмінку мовою анотації через кому (не менше трьох слів кожною мовою).
- Текст статті має містити розділи із заголовками: **«Вступ»**, **«Аналіз досліджень і публікацій»**, **«Постановка завдання»**, **«Основна частина»**, **«Висновки»**, **«Список літератури»**.
- Список літератури слід виділяти 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 63

Редагування та коректура *Г.В. Кобриної*

Комп'ютерне верстання *І. С. Аршинкіної*

Дизайн обкладинки: *В.С. Стрілець*
Д.В. Горковчук

Підписано до друку 19.12.2016. Формат 60 × 84_{1/16}
Ум. друк. арк. 15,34. Обл.-вид. арк. 16,5.
Тираж 200 прим. Зам. № 17-193.

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 ПАТ «ВІПОЛ»
вул. Волинська, 60, Київ, Україна, 03151

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
Видавничої справи ДК № 4404 від 31.08.2012 р.

ДЛЯ НОТАТОК

