

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва і архітектури

**ВИПУСК 60, 2014**

# **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 № 1 від 29. 08. 2014)*

**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: end\_geodesy@meta.ua**

© Київський національний університет будівництва і архітектури, 2014

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**

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

Заступник відповідального редактора **Сергій МОГИЛЬНИЙ**, д-р техн. наук, професор, професор кафедри геоінформатики і геодезії (Донецький національний технічний університет, Донецьк, **Україна**)

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

**Члени редколегії****Міжнародні члени редколегії**

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

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

**Святослав ЛЕБЕДЕВ**, д-р техн. наук, професор, професор кафедри вищої геодезії (Московський державний університет геодезії і картографії, Москва, **Росія**)

**Томас ЛУМАНН**, д-р габілітований, 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 (Сибірська державна геодезична академія, 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**)

**Члени редколегії з України**

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

**Іван ЗАЄЦЬ**, канд. техн. наук, начальник управління (Державне агенство земельних ресурсів України, Київ, **Україна**)

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

**Валентин ЛИПСЬКИЙ**, канд. техн. наук, доцент, начальник відділу (Державне підприємство «Центр Державного земельного кадастру», Київ, **Україна**)

**Сергій МОГИЛЬНИЙ**, д-р техн. наук, професор, професор кафедри геоінформатики і геодезії (Донецький національний технічний університет, Донецьк, **Україна**)

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

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

**Андрій ШОЛОМИЦЬКИЙ**, д-р техн. наук, професор, професор кафедри геоінформатики і геодезії (Донецький національний технічний університет, Донецьк, **Україна**)

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

**Валерій ЧИБРЯКОВ**, 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 60, 2014**

# **ENGINEERING GEODESY**

SCIENTIFIC AND TECHNICAL COLLECTION

*Founded in 1965*

*State Registration Certificate of print media  
KV series number 4185 on 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 VAK  
of Ukraine №1 -05/31 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 № 1 from 29.08.2014)*

**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: end\_geodesy@meta.ua**

**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 (Donetsk national technical university, Donetsk, **Ukraine**)

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'**, Ph.D, Professor, Head of Department of Engineering Geodesy (Petersburg state transport university, Saint Petersburg, **Russia**)

**Sviatoslav LEBEDEV** Dr. of Sciences, Professor, Professor Department of High Geodesy (Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, **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 geodesic academy, 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**)

**Editorial Members from Ukraine**

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

**Ivan ZAEC'**, Ph.D, Director of Department (The State Agency for Land Resources of Ukraine, Kiev, **Ukraine**)

**Sergiy MOGIL'NIY**, Dr. of Sciences, Professor, Professor Department of Geoinformation and Geodesy (Donetsk national technical university, Donetsk, **Ukraine**)

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

**Valentyn LIPSKIY**, Ph.D., Associate Professor, Director of Department (State enterprise «Center of the State land cadastre», Kyiv, **Ukraine**)

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

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

**Andriy SHOLOMICKIY**, Dr. of Sciences, Professor, Professor Department of Geoinformation and Geodesy (Donetsk national technical university, Donetsk, **Ukraine**)

**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 Cadastre (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. *Адаменко О.В.* Сучасний стан нормування точності геодезичних робіт під час будівництва інженерних споруд..... 6
2. *Гончаренко О.С., Гладілін В.М.* Застосування матричних приймачів випромінювання в астрономо-геодезичній практиці..... 12
3. *Зуска А.В.* Визначення зсувонебезпечних ділянок за результатами геодезичного моніторингу..... 14
4. *Костецька Я.М., Пішко Ю.Р., Торопа І.М.* Вплив кута відсічки на точність положення пунктів в мережах, створюваних з допомогою систем GPS і GLONASS..... 22
5. *Кучина Н.В.* Загальні положення концепції розрахунку точності геодезичних робіт під час монтажу корпусів суден..... 28
6. *Манукян Л.В., Маркарян В.А.* О создании модели квазигеоида и сети постоянно действующих базовых станций в республике Армении..... 34
7. *Париялюнас Э., Бирвидене Р., Петрошкявичюс П., Аксамитаускас Ч., Пашиене Л.* Анализ гравиметрических данных для уточнения квазигеоида..... 39
8. *Шульц Р.В., Анненков А.О., Мельник О.В., Хайлак А.М.* Оброблення результатів інженерно-геодезичних спостережень за осіданнями методом фільтрації за Калманом..... 45
9. *Шульц Р.В., Білоус М.В.* Розрахунок необхідної точності побудови геодезичної мережі для забезпечення будівництва підземних споруд..... 63

**КАДАСТР І МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ**

10. *Войтенко С.П., Мазницький А.С., Заболотний В.П.* Концепція створення бази нормативно-технічних документів щодо сфери видобутку корисних копалин.... 70
11. *Малашевський М.А., Горпиніч Л.В.* Підходи до визначення наднормативних площ під промисловими об'єктами..... 74
12. *Трегуб М.В.* Обґрунтування допустимої середньої квадратичної похибки положення кутів повороту меж земельних ділянок..... 81

**ГЕОІНФОРМАТИКА І КАРТОГРАФІЯ**

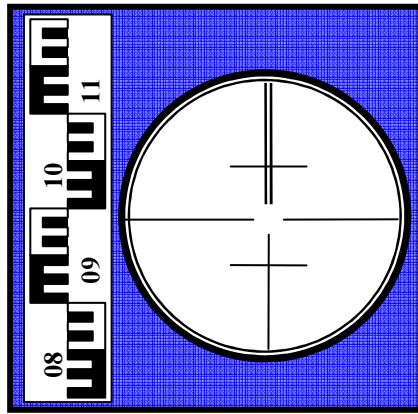
13. *Генсецький М.П., Староверов В.С.* Інформаційна модель міської території в системі містобудівного кадастру..... 88
14. *Пашиене Л.* Автоматизированная генерализация в процессе обновления базовых пространственных данных мелкого масштаба..... 92

**ФОТОГРАММЕТРІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ**

15. *Катушков В.О., Денисюк Б.І.* Технологія наземного знімання для складання фронтальної інформації крупних масштабів..... 102
16. *Квартіч Т.М.* Аналіз методів автоматизованої класифікації цифрових зображень дистанційного зондування землі..... 110
17. *Крельштейн П.Д., Маліна І.А.* Математична модель прогнозування динаміки зміни положення морської берегової лінії в акваторії Чорного моря..... 117

**АНОТАЦІЇ**..... 122

**ДО ВІДОМА АВТОРІВ**..... 131

**ГЕОДЕЗІЯ**

УДК 528.4

**О.В.Адаменко**

## **СУЧАСНИЙ СТАН НОРМУВАННЯ ТОЧНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПІД ЧАС БУДІВНИЦТВА ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД**

*Наведено огляд існуючого стану нормативного забезпечення інженерно-геодезичних робіт в Україні. Виявлено, що в більшості випадків нормативна база є застарілою і суперечить сучасним будівельним технологіям. Чинні нині нормативні документи, видані за часів Радянського Союзу, підлягають Постанові Кабінету Міністрів України від 13 квітня 2011 р. N 471 Про затвердження Програми перегляду державних будівельних норм і правил на період до 2015 року. Відповідно до цієї програми в кожному нормативному документі повинна бути переглянута та вдосконалена геодезична складова забезпечення будівництва. Видані в Україні після 1992 року нормативні документи потребують обов'язкового перегляду та подальшого удосконалення.*

**Ключові слова:** надійність споруди, нормативна база, геодезичне забезпечення.

Розвиток цивілізації неодмінно супроводжувався спорудженням різноманітних об'єктів, метою будівництва яких було вирішення наявних соціальних, економічних, енергетичних або транспортних проблем. Особливе місце в практиці будівництва належить зведенню висотних споруд, оскільки вони не тільки вирішують деякі економічні або соціальні проблеми, а й часто являють собою символ успіху, економічної могутності та рівня технічного прогресу [6].

Безперечно, важливим питанням постає надійність інженерних споруд. Побудовані споруди мають виконувати свої функції упродовж 70 - 100 років. У практиці будівельного виробництва розроблено велику кількість нормативних документів, які регламентують технологію і процес будівництва. Важливою особливістю висотних споруд є те, що їх значна частка належить до експериментальних будівель. Згідно з [7] до 2009 року на всі будівлі заввишки понад 74 метри не були затверджені державні будівельні норми, нині експериментальними спорудами вважають будівлі висотою понад 100 м.

Велика різноманітність об'єктів будівництва унеможливило створення для них єдиного нормативного документа. З-поміж значної кількості класифікацій об'єктів будівництва однією із найважливіших є класифікація за призначенням (рисунок).

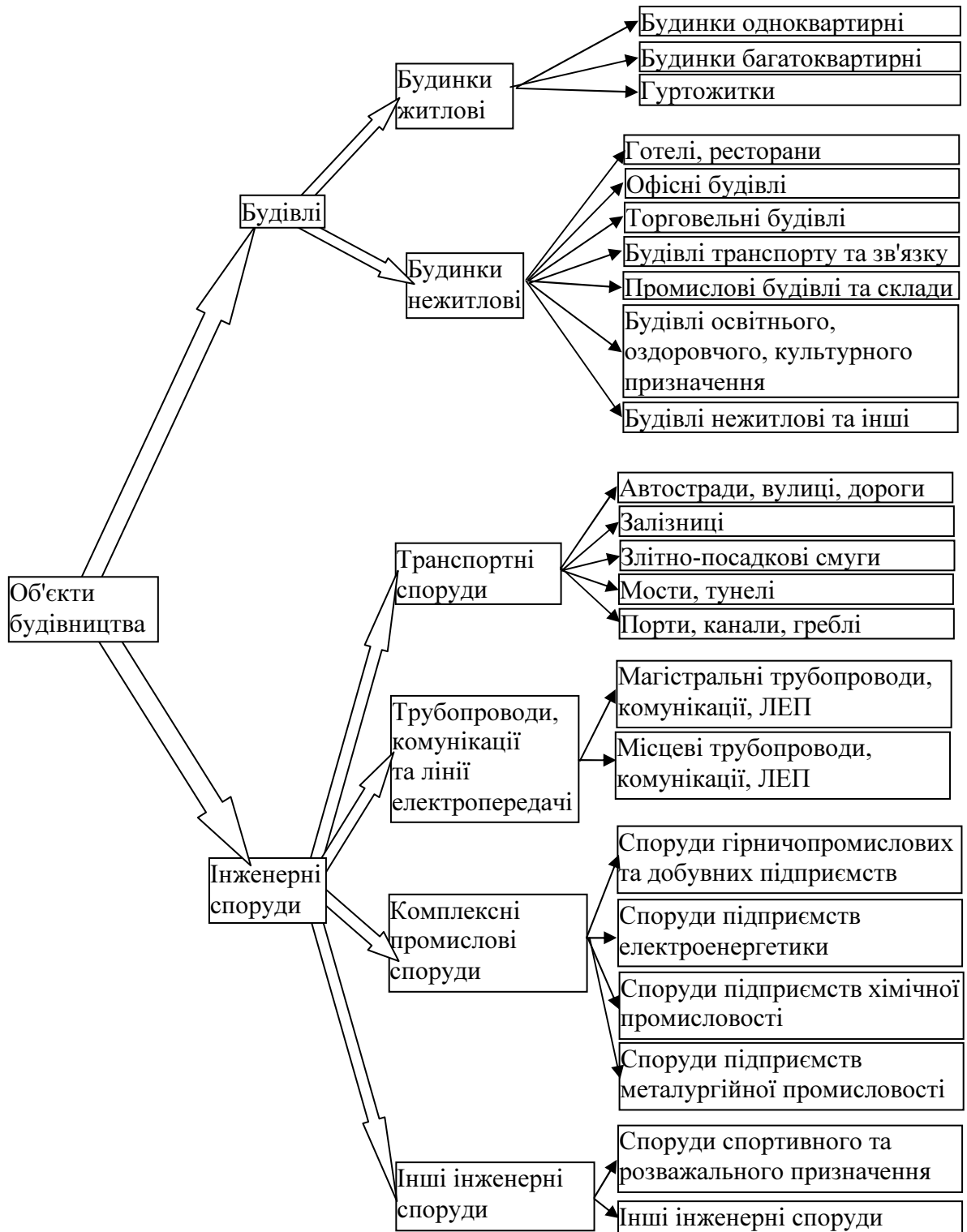


Рисунок. Класифікація об'єктів будівництва за призначенням

Відповідно до Державного класифікатора [1] всі об'єкти будівництва можна поділити на будівлі та інженерні споруди. Крім значної кількості висотних споруд, які належать до житлових і нежитлових будинків, є так звані спеціальні висотні споруди – транспортні (опори мостів, труби), комплексні промислові та інші споруди. Загалом призначення будівельної споруди безпосередньо впливає на вимоги, які висувають до її надійності, проте не відображає такого важливого критерію, як розміри будівельних об'єктів.

Іншою важливою класифікацією будівель та споруд є класифікація за класом наслідків (відповідальності) об'єкта. Розроблена в нормативному документі [2] класифікація подана в таблиці.

Таблиця

**Класифікація будівель та споруд за класом наслідків об'єкта**

Категорії складності об'єктів будівництва	Клас наслідків (відповідальності) будівлі або споруди	Характеристики можливих наслідків відмови будівлі або споруди					
		Можлива небезпека			Обсяг можливого економічного збитку	Втрата об'єктів культурної спадщини	Припинення функціонування об'єктів комунікацій транспорту, зв'язку, енергетики, інших інженерних мереж
		для здоров'я і життя людей, які постійно перебувають на об'єкті	для здоров'я і життя людей, які періодично перебувають на об'єкті	для життєдіяльності людей, які перебувають зовні об'єкта			
		кількість осіб	кількість осіб	кількість осіб	м.р.з.п.	категорії об'єктів	рівень
V	СС3	Понад 400	Понад 1000	Понад 50000	Понад 150000	Національного значення	Загальнодержавний
IV	СС2	300-400	500-1000	10000-50000	15000-150000	Місцевого значення	Регіональний
III		50-300	100-500	100-10000	2000-15000	–	Місцевий
II	СС1	0-50	50-100	До 100	До 2000	–	–
I		0	До 50	До 100	До 2000	–	–

Згідно з будівельними нормами [2] категорія складності об'єкта будівництва визначається за кожною з наведених у колонках таблиці характеристикою незалежно від можливих наслідків відмови об'єкта.

Об'єкту будівництва надають найвищу категорію складності з визначених категорій у таких випадках:

1) категорію складності об'єкта будівництва, до складу якого належить декілька окремих будинків, будівель або споруд (комплекс), визначають окремо для кожного будинку, будівлі, споруди. Якщо до складу комплексу належать будівлі та споруди IV-V категорії складності, експертизі підлягає проектна документація у повному складі на весь комплекс споруд;



2) об'єкт підвищеної небезпеки, ідентифікований згідно із законодавством, належить до V категорії складності;

3) до об'єктів культурної спадщини національного або місцевого значення належать будівлі або споруди, зазначені у відповідному Державному реєстрі нерухомих пам'яток України.

У практиці будівельного виробництва, залежно від призначення та класу відповідальності споруди, визначають технологію виконання будівельних робіт. Дотримання точності геометричних параметрів у будівництві зазвичай є сферою геодезії. На підставі установлені класифікації будівельних об'єктів в Україні затверджено нормативні документи, що регламентують геодезичні роботи за дотримання точності геометричних параметрів у будівництві. Ці нормативні документи переважно ґрунтуються на нормативах радянської доби або є актуалізованими радянськими документами, розробки для нормування точності геодезичних робіт в яких були виконані ще 20-50 років тому. Загальний розвиток країни, розвиток світової та вітчизняної архітектури, будівельних технологій та матеріалів, перетворення та розвиток економічного простору відчутно змінили потреби суспільства, отже, вимоги до сучасного будівництва. У галузі спорудження житлових будинків загальний напрям змінився від побудови однотипних «бюджетних» панельних будинків до унікальних монолітно-каркасних споруд або зведених з використанням інших нових технологічних матеріалів. Аналогічна тенденція простежується і в інших напрямках будівництва, таких як зведення мостів, транспортних і комплексних промислових споруд, нежитлових будинків тощо. Деякі нормативні документи з геодезичного забезпечення будівництва є відверто застарілими та потребують якнайшвидшого доопрацювання. Розглянемо основні нормативні документи, що регламентують геодезичні роботи у будівництві в Україні.

Основними нормативними документами, що регламентують геодезичні роботи у будівництві, є ДБН В.1.3-2:2010 "Система забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві" [3] та ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009 "Виконання вимірювань. Розрахунок та контроль точності геометричних параметрів. Настанова" [4].

У ДБН В.1.3-2:2010 викладено загальні правила проектування, виконання та приймання геодезичних робіт, обов'язкових під час будівництва, реконструкції, технічного переоснащення об'єктів будівництва будь-якого призначення. До безперечних плюсів документа слід віднести те, що йому регламентовано роль, порядок і обсяг геодезичних робіт на будівництві, описано технологію їх виконання. У документі [3] наведено вимоги до точності геодезичних робіт під час будівництва будівель і споруд. Такі вимоги є достатньо опрацьованими та спираються, без сумніву, на великий практичний досвід будівництва. Однак, на нашу думку, ці вимоги слід допрацювати для будівель та споруд IV та особливо V категорії складності. Ще одним недоліком документа, на наш погляд, є закріплення допусків на геодезичні роботи через точність вимірювань класичними методами геодезії, що унеможливує нормування точності геодезичних робіт під час будівництва за новітніми геодезичними технологіями, такими як GNSS - супутники.

У ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009 зазначено основні принципи, технологічні та функціональні допуски для забезпечення будівельних об'єктів. Під час роботи над цим

нормативним документом автори широко застосовували досвід, накопичений у СРСР і відображений у СНиП 3.01.03-84 "Геодезичні роботи у будівництві". Спираючись на СНиП 3.01.03-84 у розробці нового документа [4], автори перейняли як переваги, так і недоліки старого нормативного документа. До переваг можна віднести закріплення точності геодезичних, монтажних та інших робіт через допуски окремих параметрів конструкцій, таких як лінійні допуски, допуски прямолінійності, перпендикулярності тощо. Це, безумовно, полегшує процес контролю за конструкціями та значно зменшує ймовірність плутанини під час вибору потрібної точності вимірювань у процесі їх встановлення або контролю за ними. Однак документ [4] має і певні недоліки. Необґрунтованими вважаємо коефіцієнти залежно між граничною похибкою геодезичних робіт і допуском геометричного параметра [4; п. 10.1.5.3]. Особливо це стосується коефіцієнтів, застосовуваних для контролю за точністю виконання розмічувальних робіт і вимірюваннями під час їх виконання. Сумніви викликає і підхід, згідно з яким метод розмірних ланцюгів закріплений у документі як єдиний метод розрахунку точності встановлення конструкцій, що відображено рівнянням 5.3 у стандарті [4]. На нашу думку, дотримання геометрії конструкції має безпосередньо залежати від роботи такої конструкції та її надійності.

Як зазначено раніше, до затвердження нових норм [3] основним нормативним документом був СНиП 3.01.03-84 "Геодезичні роботи у будівництві". Клас точності споруди визначали саме за цим документом [8, табл. 2]. Відповідно до ДБН В.1.3-2:2010 усі будівельні об'єкти можна поділити на 4 класи за точністю [3, табл. 2]. Однак у настанові [4] для геодезичного забезпечення будівництва пропонується шість та дев'ять класів точності (табл. 6.3, 6.6 - 6.10 та табл. 6.2 відповідно).

Широкий спектр і різноманітність об'єктів будівництва зумовили цілий ряд нормативних документів, які регламентували технологію та точність будівельних робіт для різноманітних типів будинків або споруд, таких як мости і труби [5], метрополітени тощо.

Оскільки у ДБН В.2.3-20:2008 наведено вимоги до мостів і труб, елементи яких можна віднести до спеціальних висотних споруд, виконаємо аналіз і цього нормативного документа. У нормах [5] зазначено технічні вимоги до геодезичної опорної мережі під час будівництва мостів, зокрема: середня квадратична похибка планових координат пунктів не повинна перевищувати 6 мм; середня квадратична похибка визначення висот постійних реперів не повинна перевищувати 3 мм. Однак, на нашу думку, такі вимоги до точності геодезичних робіт є не достатньо коректними, адже опорна мережа повинна давати змогу виконувати розмічувальні роботи з потрібною точністю на всіх етапах монтажу мостів. Для деяких мостів така точність може виявитися завищеною, що призведе до необґрунтованого подорожчання геодезичних робіт, для інших – не забезпечити необхідної геометрії конструкції, що спричинить додаткові деформації і зменшить надійність і термін експлуатації конструкції. Інші вимоги, такі як точність розмічувальних робіт, виконавчих зйомок, геодезичних робіт під час спостереження за деформацією мостів, у документі не містяться, як немає і рекомендацій до обчислення цих характеристик.

Аналогічною є ситуація і з тією частиною ДБН В.2.3-20:2008, яка стосується труб.

У ДБН В.2.3-20:2008 наведено вимоги до точності побудови спеціальних допоміжних засобів, встановлення опалубки й арматури. Однак не зазначено до яких конструкцій такі вимоги слід застосовувати. На наш погляд, точність дотримання геометрії конструкції повинна залежати від надійності такої конструкції.

Таким чином, усі наведені нормативні документи, що регламентують точність геодезичних робіт, мають певні вади. Основним недоліком, на нашу думку, є встановлення норм точності геометрії споруди тільки на підставі досвіду та даних про геометрію споруди. Такі норми точності можуть виявитися завищеними щодо деяких споруд і призвести до необґрунтованого подорожчання геодезичних робіт, щодо інших споруд – спричинити появу надлишкових зусиль у конструкції і, як наслідок, до скорочення терміну її експлуатації.

На нашу думку, визначати точність дотримання геометричних параметрів висотних споруд слід на підставі розрахунку допустимих зміщень вузлів конструкцій, виконуваних за методами будівельної механіки. В такому розрахунку пропонуємо використовувати різні коефіцієнти запасу точності залежно від вимог до надійності споруди. Такими вимогами можна вважати класифікацію споруд за відповідальністю (див. таблицю) або іншу класифікацію.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Державний* класифікатор будівель та споруд ДК 018-2000
2. *Склад* та зміст проектної документації на будівництво: ДБН А.2.2-3-2012. – [Чинний від 2012-01-07]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2012. – 26 с.
3. *Система* забезпечення точності геометричних параметрів у будівництві. Геодезичні роботи у будівництві: ДБН В.1.3-2:2010. – [Чинний від 2010-01-09]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2010. – 70 с.
4. *Виконання* вимірювань. Розрахунок та контроль точності геометричних параметрів. Настанова: ДСТУ-Н Б В.1.3-1:2009. – [Чинний від 2009-24-12]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 122 с.
5. *Споруди* транспорту. Мости та труби. Виконання та приймання робіт: ДБН В.2.3-20:2008. – [Чинний від 2008-08-01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2008. – 36 с.

### Інтернет-джерела

6. <http://www.irbit-glass.ru/budivnitstvo/413-visotni-budivli-osoblivosti-proektuvannya-budivnictva-ta-monitoring-fundamentiv.html>
7. [http://www.goodvin.info/biznes/stroitelstvo\\_neboskrebov\\_v\\_ukraine\\_pod\\_ugrozoj.html](http://www.goodvin.info/biznes/stroitelstvo_neboskrebov_v_ukraine_pod_ugrozoj.html)
8. <http://lib4all.ru/base/B2005/B2005Part66-193.php>

О.С. Гончаренко,  
В.М. Гладілін

## ЗАСТОСУВАННЯ МАТРИЧНИХ ПРИЙМАЧІВ ВИПРОМІНЮВАННЯ В АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧНІЙ ПРАКТИЦІ

*Розглянуто особливості практичного застосування матричних приймачів випромінювання як реєстраторів інформації для визначення координат точкових зображень.*

**Ключові слова:** ПЗЗ-матриця, відхилення прямовисних ліній, точкові джерела випромінювання (ТДВ), матричні приймачі випромінювання (МПВ).

**Постановка проблеми.** Не зважаючи на широке впровадження в геодезичне виробництво сучасних технологій (ГНСС та ін.), визначення астрономічного азимута, а в деяких випадках й астрономічних координат за традиційними методами геодезичної астрономії досі є актуальною задачею. Засоби й апаратура визначення астрономічного азимута достатньо складні, обмежені в оперативності, що потребує їх автоматизації і переходу до якісно нових методів спостережень із застосуванням найновішої техніки, відповідно до рівня високоточних вимірювань.

Підвищення точності в більш широкому плані потрібне для розв'язання цілого комплексу завдань з геодинаміки, геодезичного забезпечення спеціальних робіт, космічних досліджень тощо. Наприклад, для редукування результатів траєкторних вимірювань із топоцентричної інструментальної в зоряну (інерціальну) систему координат необхідна автоматизація процесу спостереження зірок і базисних напрямків.

**Огляд останніх публікацій та постановка завдання.** За аналізом зарубіжних публікацій можна стверджувати, що простежується чітка тенденція до активного застосування матричних приймачів випромінювання (МПВ) та методу відеовимірювань з метою використання в геодезичній астрономії (визначення відхилень прямовисних ліній) [1]. Однак немає єдиного підходу до розв'язання ряду проблем, наприклад, які прилади і методи слід ефективніше застосовувати на практиці. Немає також рекомендацій щодо використання методів із застосуванням портативних засобів спостережень, як і єдиних відомостей про досягнуту точність результатів.

Огляд публікацій дав змогу виявити загальні характеристики МПВ. Застосування МПВ відкриває нові можливості (порівняно із застосуванням фотоелектронних помножувачів) в геодезичній астрономії, а саме:

- вимірювання координат зображень точкових джерел випромінювання (ТДВ) і кутів в полі зору об'єктива без застосування механічних мікрометрів;
- визначення координат й азимутів рухомих зірок;
- виконання калібрування МПВ безпосередньо в польових умовах в процесі спостережень.

**Виклад основного матеріалу.** Основою методу відеовимірювань є аналіз електричного сигналу, що надходить до МПВ в результаті перетворення світлової

енергії. Метричне оброблення зображень актуальне для розв'язання задач в ряді технічних вимірювальних комплексів: геодезичних, астрометричних, навігаційних, коли потрібна точність визначення координат в площині аналізу на рівні десятих часток розміру пікселя.

Вихідним параметром визначення положення зображення ТДВ є розподіл світлової енергії в зображенні, побудованому оптичною системою. Після дискретизації і квантування сигналу вихідне зображення буде представлено у вигляді двовимірної матриці цілих чисел (пропорційне сумарному зарядові, накопиченому в окремому пікселі). Під час визначення положення координат зображення використовують набір дискретних величин, розміщених на сітці з постійним інтервалом.

З метою виявлення факторів впливу на точність визначення положення зображення ТДВ можуть бути застосовані відомі методи визначення координат центру зображення:

1. Метод центра ваги – визначення значень середніх координат;
2. Метод апроксимації функції розсіювання точки (визначення максимуму функції розсіювання точки, що описує вихідне зображення точкового джерела випромінювання);
3. Метод медіани – визначення координат за умови рівності енергій (площ) ліворуч і праворуч від положення центру зображень;
4. Рівневий метод полягає в поділі вихідного сигналу на рівні, знаходжувані середніх значень координат для кожного із рівнів з подальшим вибором оптимального значення координат.

Для дослідження похибок, що виникають під час визначення положення зображення ТДВ, в якості вихідної одновимірної моделі розподілу світлової енергії використано функцію [2]:

$$y(x) = A \cdot \exp(-x^2),$$

або у спрощеному вигляді:

$$y(x) = A \cdot \cos^2(Bx),$$

де  $B$  – константа, що залежить від довжини світлової хвилі, фокусної відстані і діаметра вхідного отвору об'єктива;  $A$  – амплітуда сигналу;  $x$  – координата в площині аналізу.

Дискретний за координатою  $x$  сигнал, одержаний з чарунок МПВ, розраховано як значення інтегральних сум:

$$f(x) = \frac{1}{\Delta x} \int_{x_i}^{x_{i+1}} y(x) dx = \frac{A [(2Bx_{i+1} - 2Bx_i) + \sin(2Bx_{i+1}) - \sin(2Bx_i)]}{4B\Delta x},$$

де  $y(x)$  – функція розподілу світлової енергії зображення;  $\Delta x = x_{i+1} - x_i$  – розмір пікселя;  $x_i, x_{i+1}$  – координати границь  $i$ -го пікселя,  $i$  – порядковий номер пікселя.

Різниця  $y(x_i) - f(x_i) = \delta y(x_i)$  є похибкою дискретизації.

Для попередніх розрахунків розглянуто частковий випадок: вихідна функція (енергія зображення ТДВ) розподілена на три елементи МПВ. Її максимум знаходиться всередині центрального елемента.

Симетрія  $f(x_i)$  відносно максимуму функції  $y(x)$  у разі зміщення зображення на величину  $\delta_x$  порушується. Вплив асиметрії на кінцевий результат в різних методах обробки сигналу може бути різним. Такий вплив був розглянутий для кожного методу обробки.

Виявлено, що мінімальну похибку визначення на модельних сигналах дає метод центра ваги, решта методів дають похибку, яка не перевищує  $\sim 0,1$  величини розміру пікселя, що в кутовій мірі для високоточної зенітної камери [3] з  $f=1000$  mm та  $D=70$  mm не буде перевищувати  $0,1''$ .

**Висновки.** Перехід від візуальних до оптико-електронних методів спостережень є перспективним, що дає змогу підвищити рівень автоматизації та сприяє вдосконаленню відомих і розробленню нових методів астрономо-геодезичних спостережень. Метод із використанням на базі МПВ завдяки конструктивним особливостям апаратури дає можливість підвищити точність вимірювань.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Hirt C., Burki B. (2002). The Digital Zenith Camera - A New High-Precision and Economic Astrogeodetic Observation System for Real-Time Measurement of Deflections of the Vertical/e/Hirt. *Proceed. of the 3rd Meeting of the International Gravity and Geoid Commission of the International Association of Geodesy, Thessaloniki* (ed. I. Tziavos): 161-166.
2. Брагин А.А. Исследование способов определения координат центра изображения точечного источника излучения /А. А. Брагин // Известия ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 5. – С. 73-80.
3. Деклараційний патент на винахід UA 63575 А, МКИ G02B17/00. Пристрій для спостереження зірок в зеніті / Боровий В.О., Бурачек В.Г., Гончаренко О.С., Карпінський Ю.О (Україна).-№ 2003054111; заявл.06.05.2003; опубл.- 15.01.2004, Бюл. № 1.

Надійшла до редакції

27.05.2013

УДК 528.022

А.В. Зуска

### ВИЗНАЧЕННЯ ЗСУВОНЕБЕЗПЕЧНИХ ДІЛЯНОК ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ГЕОДЕЗИЧНОГО МОНІТОРИНГУ

*На підставі геодезичного моніторингу встановлено, що нерівномірно розподілені по площі вектори зміщень зсувних точок у просторі і геометричні параметри гідрогеологічної будови схилу в цих точках представляють кінематичну модель зсувного процесу, зображення якої в ізолініях дає змогу визначати зсувонебезпечні ділянки, інтенсивність та напрямок зміщень.*

**Ключові слова:** геодезичний моніторинг, зсувні процеси, зсувонебезпечні ділянки, параметри зміщень, геометричні параметри будови схилів, кінематична модель зсувного процесу.

**Вступ.** У результаті впливу чинників природно-техногенного характеру відбувається активізація зсувних процесів на територіях значної кількості міст України. Це пояснюється їх геологічною будовою та геоморфологічними умовами, що

потребують поглибленого вивчення. Освоєння таких земель вимагає складної інженерної підготовки і значних капітальних вкладень. У процесі використання земель з несприятливими природними умовами для розбудови міст потрібно не забувати навіть про ті зсуви, що «затухли», але можуть прийти в рух у разі порушення їх природної стабільності. Зважаючи на значну вартість виконання протизсувних заходів, у проектуванні будівництва слід уникати розміщення будівель на зсувних землях. Для цього спеціалістами в процесі інженерно-геологічних вишукувань повинна бути встановлена лінія, яка б обмежувала наближення забудови до зсувів.

**Постановка проблеми.** Останнім часом проблема використання для суспільних потреб непридатних і порушених земель набирає все більшої ваги. У більшості країн через обмеженість придатних для заселення земель ця проблема вже давно стала актуальною. Серед земель із несприятливими умовами значний відсоток становлять землі яружно-балкової системи, яка порушує компактність забудови населеного пункту. Одним із основних завдань комплексної програми протизсувних заходів на 2005-2014 роки є підвищення ефективності протизсувних заходів, удосконалення системи моніторингу зсувів та інженерно-геологічне вивчення стійкості зсувонебезпечних територій [1]. Зокрема, у місті Дніпропетровську, побудованому на пагорбах-вододілах, складених лесовими породами, що оголюються на схилах більшості балок і яруг, немає належного інженерного захисту. За наявності балок в центральній частині міста, де кожна ділянка землі має велику цінність, з метою запобігання виникненню зсувів може бути виправданим застосування сучасного інструментального моніторингу цих земель та виконання обґрунтованих протизсувних заходів. Для належного виконання цих заходів треба, по-перше, визначити або уточнити межі та інженерно-геологічні умови зсувонебезпечних ділянок схилів, по-друге – відповідно до цільового призначення таких територій запровадити систему моніторингу для визначення гідрогеологічної будови, геоморфологічних умов та стану стійкості схилу.

Залежно від того, наскільки досконало досліджено зсуви в регіоні, наскільки правильно встановлені фактори, що спричинюють їх формування, визначають інженерні заходи, що могли б локалізувати або усунути руйнівну дію зсувів. Недостатньо повний моніторинг часто призводить або до неефективності запроєктованих і здійснених протизсувних заходів, або до значного їх подорожчання. Тому, застосовуючи систему моніторингу, велику увагу треба приділяти вивченню територій, схильних до виникнення на них зсувних процесів, зокрема давніх зсувів, які перебувають у стані спокою, визначенню меж зсувонебезпечних ділянок.

**Аналіз останніх публікацій.** Системи моніторингу земель створюють для своєчасного надання органам державного управління та науково-виробничим організаціям інформації про стан земної поверхні. Питання зсувних процесів, що відбуваються як у великих містах, так і в місцях відкритої розробки родовищ, висвітлено в багатьох дослідженнях розвитку цих процесів і методів їх прогнозування. Тільки завдяки характеристиці сучасного стану стабільності схилу і передбачаючи його майбутні зміни, можна прогнозувати виникнення зсуву. Відомо більш ніж 300 методів й прийомів розрахунку стабільності природних і техногенних зсувів. Суттєвий внесок у вивчення зсувів та методів їх прогнозування зробили вчені П.Й. Брайт, О.Г. Григоренко, К.А. Гулакян, Г.С. Золотарьов, Є.П. Ємельянова, І.Е. Келль, В.В. Кюнтцель, М.М. Маслов, Ю.М. Ніколашин, Г.І. Тер-Степанян, Г.М. Шахунянц, О.І. Шеко та ін.

За допомогою розроблених методів розрахунків стійкості природних схилів балок та уступів кар'єрів зсувні процеси прогнозують за даними геологічних розрізів, виконаних в одній або декількох площинах масиву, що зрушується. При цьому не беруть до уваги одночасний вплив таких факторів, як геометричні параметри інженерно-геологічної будови схилу, кінематика схилу в просторі протягом визначеного часу. Взаємозв'язок може бути виявлений за допомогою одночасного використання параметрів зсувного процесу та геометричних параметрів будови схилу, що являють собою кінематичну модель зсувного процесу, виконану шляхом геометризації. Однак, як свідчить аналіз публікацій, дослідження стосуються геометризації геотехнічних умов освоєння родовищ [2; 3], а методи геометризації моделей і прогнозування зсувних процесів досі не розроблені.

**Виклад основного матеріалу.** До найбільш раціональних спостережень за станом схилів та споруд на них належить геодезичний моніторинг, який складається із систематичних інструментальних вимірювань на місцевості. Для призупинення активізації зсувних процесів в Дніпропетровську виконано і далі виконується ряд інженерних заходів для захисту забудованих схилів від зсувів, зокрема, закріплення терасуванням й дренавальними спорудами схилів балок Аптекарської, Червоноповстанської, Тунельної, підпірними спорудами схилів балок та пагорбів, зокрема балки Євпаторійської. Але більшість цих заходів виконано після виникнення зсуву, без детального вивчення стану схилу і причин, які спровокували його рух. У пропонованій статті наведено результати геодезичного моніторингу стану схилу й ефективності протизсувних заходів у вигляді підпірної стіни та встановлення на цій підставі меж ділянок, що опинилися у сувонебезпечній зоні на прикладі схилу балки Євпаторійської.

На підставі спостережень з'ясовано, що нерівномірно розподілені по площі вектори зміщень точок зсувного масиву в просторі і геометричні параметри геологічної будови являють собою кінематичну модель зсувного процесу, зображення якої в ізолініях дає змогу визначати місця інтенсивного розвитку і напрямку руху зсуву.

Геологічна будова схилів балок правобережної частини Дніпропетровська представлена переважно лесовими породами. Лесові види порід вирізняються певним складом і характерною схильністю до різкого стиснення внаслідок замочування водою. Стиснення лесових порід зумовлює значне осідання будинків й споруд. Геологічний розріз схилу балки Євпаторійської складений лесами і лесовими суглинками, перекритими з поверхні насипними і ґрунтово-рослинними породами з прошарками глини, для якої властивий високий ступінь пластичності й утиснення через замочування (рис.1).

На схилі балки Євпаторійської після введення в експлуатацію житлового масиву «Сокіл-2» почали деформуватися й руйнуватись будинки індивідуальної забудови, які на теперішній час майже всі знесені. Це свідчить про те, що під час проектування не здійснено моніторингу стану цього масиву, не розраховані параметри найменшого віддалення лінії забудови від брівки схилу. Такі приклади в місті не поодинокі. Багато відселених житлових висотних та приватних будинків в центральній частині міста на схилах балок Аптекарської, Червоноповстанської, деформованих з утворенням тріщин, перекосів і просідань. Цей процес не призупинився, він далі розвивається, виводячи із експлуатації все нові житлові будинки. Цього можна було б уникнути, якби на таких



ділянках з несприйнятливими умовами від часу забудови велись систематичні спостереження – інструментальний геодезичний й гідрогеологічний моніторинг.

Достовірність інформації геодезичного моніторингу залежить не тільки від точності вимірювань і приладів, які застосовують, а й від місця закладення пунктів станції спостереження [4, 5]. При цьому беруть до уваги форму та умови залягання інженерно-геологічних шарів будови схилу.

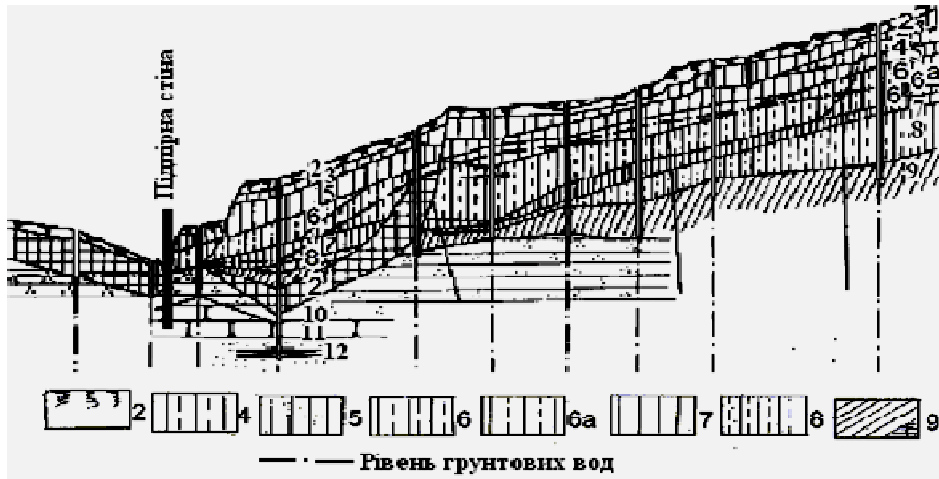


Рис.1. Схема геологічного розрізу схилу балки Євпаторійської:

2 – ґрунтово-рослинний суглинок; 4 – лес жовтий макропористий, твердої консистенції; 5 – суглинок лесовий, буровато-жовтий, макропористий, жорсткої консистенції; 6 – суглинок лесовий буровато-жовтий, пластичної консистенції; 6 а – лес палево-жовтий, макропористий; 7 – суглинок лесовий, макропористий; 8 – лес світло-жовтий, пластичний; 9 – суглинок червоно-бурий, слабомакропористий, твердої консистенції

Для виконання геодезичних спостережень на ділянці схилу балки Євпаторійської пункти були закладені на вододілі житлового багатоповерхового масиву "Сокіл-2", на схилі, де розміщено житлові одноповерхові будинки, та безпосередньо на підпірній стіні в зоні активізації зсувних зміщень та за її межею.

Відповідно до наведених умов пункти станції спостереження на ділянці "Сокіл" схилу балки Євпаторійської були поділені на три групи. Перша група – це пункти полігонометрії (31–47) на забудованій території вододілу, друга – ґрунтові марки профільних ліній (102–149) у верхній частині й на самому схилі, укріпленому інженерною протизсувною спорудою у вигляді підпірної стіни; третя група – ґрунтові марки (150–164) за межею зсувного процесу, пункти мікротріангуляції (27–30) на підпірній стіні (рис.2).

Друга частина пунктів мікротріангуляції (16; 26) була закладена на правому боці схилу балки, який у той час був у стані спокою.

Типізація кінематичних характеристик пунктів, нерівномірно розподілених по площі схилу балки Євпаторійської, виконана на основі форми та умов залягання порід, коефіцієнту забудови, довжини водоносних комунікаційних систем тощо. На підставі цього виявлено взаємозв'язок між геометричними параметрами будови схилу і параметрами зсувного процесу (табл. 1). Наприклад, якщо крутизна схилу не перевищує  $7^{\circ}$ , кут нахилу покрівлі водотривкого шару близько  $5^{\circ}$ , а глибина водоносного горизонту в межах 10 м, то середня швидкість горизонтальних зміщень зсувного тіла може сягнути понад 8 мм за місяць, а вертикальних – 2 мм.

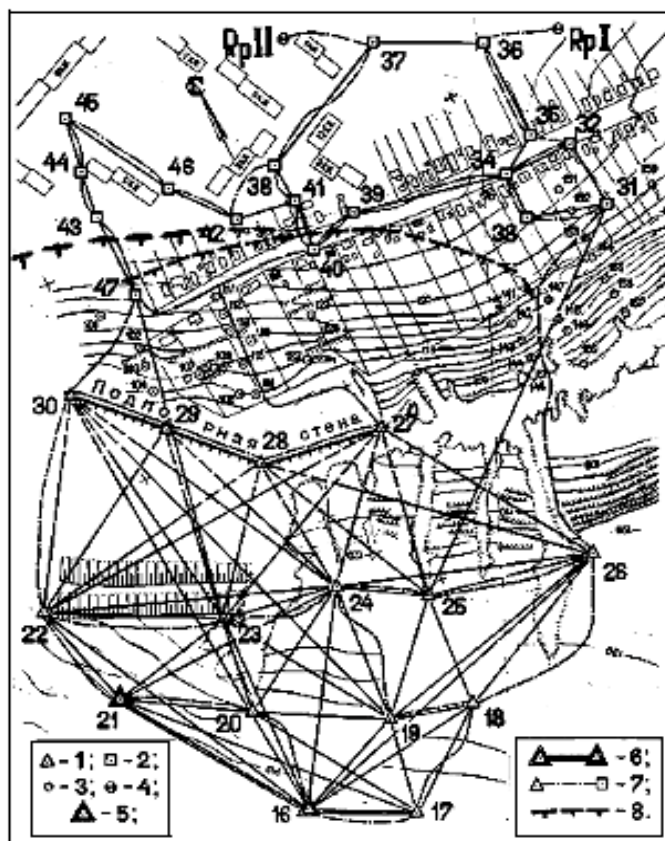


Рис. 2. Схема станції спостереження на ділянці схилу балки Євпаторійської:  
 1 – пункт мікротріангуляції; 2 – пункт полігонометрії; 3 – ґрунтова марка;  
 4 – ґрунтовий репер; 5 – вихідний пункт планової мережі мікротріангуляції;  
 6 – базисна сторона; 7 – нівелірний хід; 8 – межа можливого розвитку зсуву

Таблиця 1

**Взаємозв’язок геометричних параметрів будови схилу, параметрів зсувного процесу на прикладі схилу балки Євпаторійської**

№ пор.	Розміщення пунктів спостережень	Коефіцієнт забудови схилу	Довжина схилу, м	Висота схилу, м	Крутизна схилу	Кут нахилу покрівлі водотривкого шару, град.	Середня потужність порід до водотривкого шару, м	Середня глибина водоносного горизонту, м	Середня швидкість горизонтальних зміщень, мм/міс	Середня швидкість вертикальних зміщень, мм/міс.
1	На вододілі (перша група)	0,6	85,1	6,3	4,2 <sup>0</sup>	0,4	18,5	14	2,0	0,4
2	У верхній частині схилу (друга група)	0,6	108,1	12,1	6,4	4,6	20,5	13,5	4,4	1,7
3	На схилі (друга група)	0,1	98,1	11,3	6,5	4,6	17,5	9,5	8,6	1,6

Не менш важливим принципом підходу під час моніторингу є принцип наочності і доступності результатів дослідження земель для споживача. Геометризація кінематичних характеристик пунктів, нерівномірно розподілених по площі, і параметрів геометричної будови товщі схилу методом ізоліній дає змогу дослідити характер зміщень, розподіл їх швидкості та ізопотужності ґрунтових мас, що зміщуються.

Геодезичний моніторинг ділянки на схилі балки Євпаторійської засвідчив деякі особливості зсувного процесу. За результатами систематичних інструментальних спостережень визначено параметри зсувного процесу за певних геологічних і геоморфологічних умов. З аналізу цих параметрів випливає, що величина горизонтальних і вертикальних зміщень пунктів на підпірній стіні мають нерівномірний характер. Зміщення пунктів на пагорбі-вододілі не перевищують середньої квадратичної похибки їх положення, визначеного із зрівнювання, за винятком пунктів на брівці схилу. Максимальні вертикальні зміщення цих пунктів протягом періоду спостережень становить 253 мм, мінімальні – 57 мм [6]. Це свідчить про нерівномірну деформацію схилу балки Євпаторійської (рис.3).

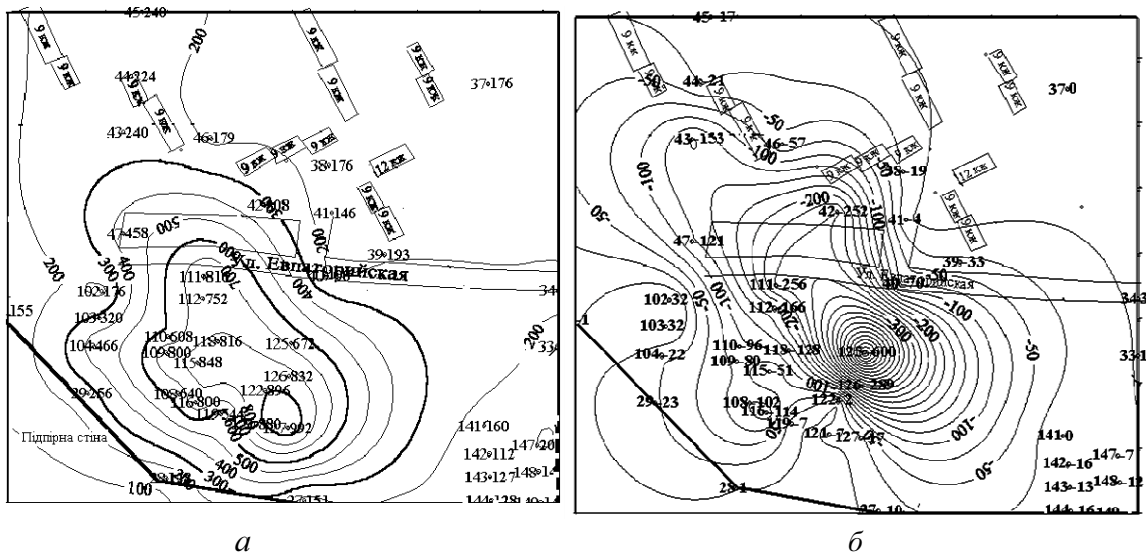


Рис.3. План розподілу сумарних зміщень пунктів в ізолініях на схилі балки Євпаторійської:  
а – горизонтальні; б – вертикальні

Зміщення пунктів на укріпленому схилі свідчать про те, що деяка частина зсувного тіла наповзає на нижчі шари і згодом може сягнути підпірної стіни, що є досить небезпечним для схилу, який вона втримує. Можна дійти висновку: маса порід, які сповзають, збільшується, захоплюючи при цьому раніше не зачеплену зсувом площу укріплювального схилу, змінюючи свій напрямок поза межі укріплення (рис.4).

Дослідження зсувонебезпечних ділянок за допомогою геометризації в ізолініях дає можливість узагальнити отримані дані геодезичного моніторингу зсувного процесу в просторі і часі в наочному зображенні. Для цього параметри зсувного процесу і інженерно-геологічної будови схилу представляють графічними зображеннями у вигляді сумісних динамічних і гіпсометричних планів [6]. За допомогою таких планів можна виявити межі зсувонебезпечних територій, визначити напрямок і швидкість руху та спрогнозувати подальшу перевагу зсувного процесу (рис. 5).

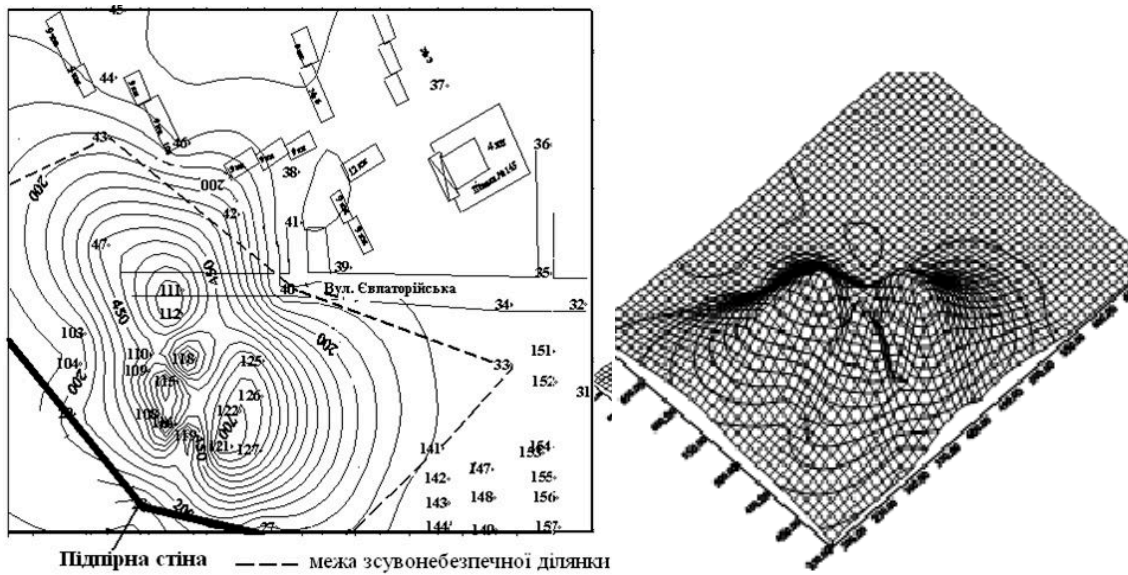


Рис. 4. План розподілу змін об'єму ґрунтових мас, що зміщуються

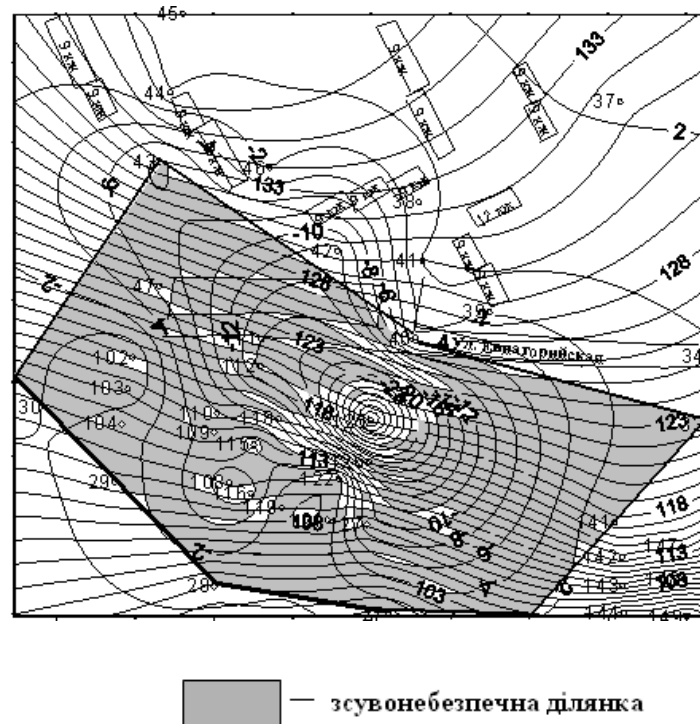


Рис. 5. Схема зсувонебезпечної ділянки на схилі балки Євпаторійської

За результатами геодезичних спостережень виявлено взаємозв'язок між кінематичними характеристиками зміщень і геометрією будови схилу. Наприклад, швидкість горизонтальних зміщень пунктів на вододілі, лінійно залежить від кутів нахилу водотривкого шару, ( $r_{xy} = 0,91$ ), рельєфу ( $r_{xy} = 0,82$ ) та напрямку (дирекційних кутів) закладення водотривкого шару ( $r_{xy}=0,62$ ). Швидкість вертикальних зміщень цих пунктів залежить тільки від кутів нахилу водотривкого шару ( $r_{xy} = 0,86$ ) і напрямку його закладення ( $r_{xy} = 0,59$ ), меншою мірою від кутів нахилу «дзеркала» водоносного горизонту, а пункти, закладені на схилі, характеризуються параболічною залежністю ( $r_{xy} = 0,85$ ) від глибини водоносного горизонту (рис. 6).

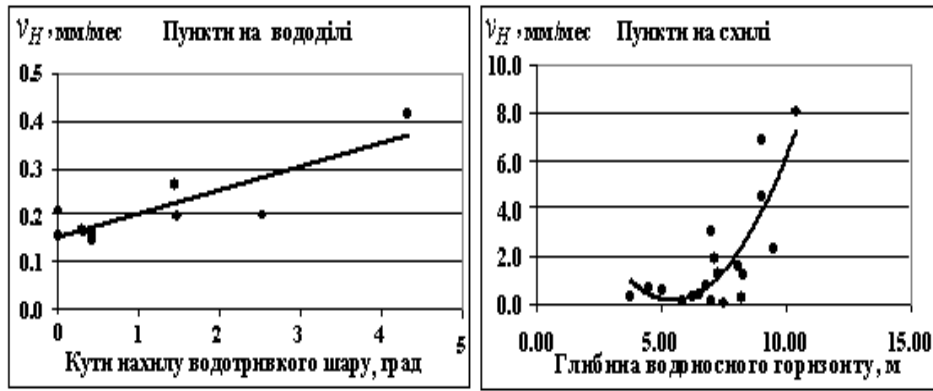


Рис.6. Залежність швидкості осідання пунктів від кутів нахилу поверхні водотривкого шару і глибини водоносного горизонту

У виконанні геодезичного моніторингу в сучасних умовах основною вимогою є отримання інформації за мінімальних контрольованих параметрів.

На підставі багатофакторного аналізу геодезичних спостережень виявлено математичну залежність між динамікою зміщень пунктів, нерівномірно розподілених по площі і геометричних параметрах інженерно-геологічної будови схилу. Для прогнозу очікуваної середньої швидкості горизонтальних і вертикальних зміщень відповідно до кутових і лінійних показників геометрії зсувного схилу розроблені математичні моделі. Очікувані середні швидкості зміщення пунктів на вододілі визначають за виявленими залежностями:

$$\left. \begin{aligned} \vartheta_{(S)cp} &= 0,822 + 0,133\delta_{(ви)} - 0,009\delta_{(вг)} - 0,002\beta_{(p)} - 0,001\alpha_{(ви)} + 0,001\alpha_{(вг)} \\ \vartheta_{(S)cp} &= - 9036 + 0,380p_{(зм)} - 2163g_{(вг)} - 0,021p_{(вг)} + 0,78w_{(пв)} + 24383I_{(а)} \\ \vartheta_{(H)cp} &= - 1,248 + 0,345\delta_{(ви)} + 0,254\delta_{(вг)} - 0,189\beta_{(p)} + 0,008\alpha_{(ви)} + 0,003\alpha_{(вг)} \\ \vartheta_{(H)cp} &= - 10892 + 0,360p_{(зм)} + 1,478 g_{(вг)} - 0,195p_{(вг)} + 0,964w_{(пв)} + 1373I_{(а)} \end{aligned} \right\}$$

де  $\delta_{(ви)}$ ,  $\delta_{(вг)}$ ,  $\beta_{(p)}$ ,  $\alpha_{(ви)}$ ,  $\alpha_{(вг)}$  – кути нахилу водотривкого шару, водоносного горизонту і рельєфу, дирекційні кути падіння водотривкого шару і водоносного горизонту;

$p_{(зм)}$  – потужність зсувного масиву до поверхні ковзання;  $g_{(вг)}$  – глибина водоносного горизонту;  $p_{(вг)}$  – потужність водоносного горизонту;  $w_{(пв)}$  – рівень підземних вод;  $I_{(а)}$  – індекс обводнення відповідно.

Дослідженнями з'ясовано, що швидкість горизонтальних зміщень пунктів розташованих безпосередньо на схилі, залежить від кутових показників геометричних параметрів будови схилу на 23,2% і на 16,0%, від лінійних. Швидкість вертикальних зміщень залежить на 49,4% від кутових і на 71,0% – від лінійних параметрів геометрії схилу.

Методика геодезичного моніторингу за станом схилу та ефективністю протизсувних заходів на прикладі балки Євпаторійської може бути застосована на інших зсувонебезпечних схилах балок з аналогічною формою й умовами залягання порід.

**Висновки.** 1. Застосування систематичного інструментального геодезичного моніторингу дає можливість визначати параметри зсувних процесів для кожної ділянки схилу і своєчасно виявляти зміни положення поверхні схилу та будинків й споруд, розміщених на ньому. 2. На підставі параметрів зміщень слід правильно виявляти зсувонебезпечні території, визначити їх межі та ухвалювати рішення щодо відведення цих ділянок для будівництва, вибору матеріалу і конструкції під час проектування протизсувних заходів.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Постанова* кабінету Міністрів України від 22 вересня 2004 р. № 1256 “Комплексна програма протизсувних заходів на 2005-2014 роки”.
2. *Брайт П.И.* Геодезические методы измерения смещений на оползнях /П.И. Брайт. – М.: Недра, 1965. – 113 с.
3. *Григоренко А.Г.* Измерение смещений оползней /А.Г. Григоренко. – М.: Недра, 1988. – 142 с.
4. *Букринский В.А.* Геометризация месторождений полезных ископаемых / В.А. Букринский, Ю.В. Коробченко. – М.: Недра, 1977. – 526 с.
5. *Гордеев В. А.* Основы геометризации геотехнических условий разработки на карьерах: автореф. на здобуття наук. ступеня дис. д-ра техн. наук. спец.: 05.24.01. /В.А. Гордеев. Спб. 1994. – 32 с.
6. *Зуска А. В.* Вплив геометрії параметрів масиву на зсувні процеси в м. Дніпропетровську /А.В. Зуска //Вісник Житомирського технологічного університету. – Житомир, 2006. – Вип. 1. – № 36. – С.137–146.

Надійшла до редакції

15.01.2013

УДК 528.2

**Я.М. Костецька**

**Ю.Р. Пішко**

**І.М. Торопа**

## ВПЛИВ КУТА ВІДСІЧКИ НА ТОЧНІСТЬ ПОЛОЖЕННЯ ПУНКТІВ В МЕРЕЖАХ, СТВОРЮВАНИХ З ДОПОМОГОЮ СИСТЕМ GPS I GLONASS

*Розглянуто вплив кута відсічки на точність положення пунктів мереж, отриманих за спостереженнями супутників одночасно систем GPS і GLONASS, які є практично таким самим, як і в результаті спостережень супутників тільки системи GPS.*

**Ключові слова:** кут відсічки, супутникові системи GPS і GLONASS

**Постановка проблеми.** Останніми роками відбулися суттєві зміни у застосуванні глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС). Системи стали

відкритими для цивільного використання, підвищилася якість обладнання супутників та збільшилась їх кількість. Нині почали використовуватись основні генератори супутників з більшою стабільністю частоти, що підвищило точність часової синхронізації сигналів супутникового сегмента. Відбулося також оновлення та розширення наземного сегмента ГНСС, що підвищило якість ефемерид. Функціонує російська система GLONASS. Поступово вводяться в дію й інші супутникові системи. Дедалі ширше в геодезії використовують приймачі, які одночасно приймають сигнали двох систем - GPS і GLONASS і виконують вимірювання віддалей до їх супутників. Завдяки цьому збільшилась кількість визначених приймачами величин. Усе це потребує перегляду основних параметрів методики супутникових спостережень, зокрема й відносних статичних.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Одним з параметрів методики супутникових спостережень є кут відсічки, значення якого визначають у нормативних документах залежно від точності вимірювань. Але параметри методики супутникових спостережень були встановлені ще в минулому столітті, коли функціонувала тільки одна система NAVSTAR GPS, а кількість супутників була меншою, ніж в наш час.

У нормативних документах різних країн для відносних статичних спостережень зазначено різні кути відсічки:  $10^\circ$  [8, 4],  $12^\circ$  [5], від  $13^\circ$  до  $15^\circ$  [11],  $15^\circ$  [1, 9, 3, 7, 10]. В Україні під час створення й оновлення ДГМ 1-го класу встановлено кут відсічки  $10^\circ$ , а для спостережень в мережах 2-го та 3-го класу допускається  $15^\circ$  [1]. В Австралії також встановлено кути відсічки залежно від класу мереж. У мережах 1-го класу -  $0^\circ$ , 2-го і 3-го класу -  $7^\circ$  та  $15^\circ$  - в мережах 4-го і 5-го класу [6].

Сигнали супутників, які функціонують близько до горизонту, не рекомендують використовувати, оскільки через зменшення кута нахилу напрямку на супутник збільшується частина шляху його сигналу до приймача, що пролягає крізь атмосферу. Особливо негативним є те, що шлях сигналу близький до поверхні Землі, тобто припадає на приземний шар тропосфери, де відбуваються найбільш інтенсивні зміни метеорологічних параметрів. Ще однією причиною встановлення певного значення кута відсічки є бажання зменшити вплив багатопляховості сигналів супутників, тобто уникнути впливу їх відбиття від різноманітних об'єктів. Приймач приймає основний сигнал супутника, що пройшов шлях без заломлень, разом з відбитими сигналами, які спричиняють помилку у виміряних до супутника віддальх.

Певні аспекти використання GPS в умовах обмеженої видимості горизонту описані, зокрема, в праці [11], у якій одним з питань є дослідження точності GPS-спостережень різної тривалості (30 та 60 хв.) за кутів відсічки  $0^\circ$ ,  $5^\circ$  та  $15^\circ$ . Ці дослідження підтвердили, що найкращі результати отримують, використовуючи супутники за кута відсічки  $15^\circ$ .

**Постановка завдання.** Істотне збільшення кількості супутників за умови використання двох і більше ГНСС дає підстави припустити, що збільшення кута відсічки не буде негативно впливати на точність визначення положення приймача. А це розширює можливості застосування супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості супутників, наприклад, в гірських місцевостях або в населених пунктах з висотною забудовою.

Метою проведеного нами дослідження є з'ясування впливу зміни кута відсічки на точність визначення положення пунктів супутникових мереж за різної тривалості спостережень дво- та одночастотними приймачами, які приймають тільки сигнали системи GPS, та приймачами, що приймають сигнали систем GPS і GLONASS.

**Виклад основного матеріалу.** Для дослідження використано результати спостережень на перманентних станціях, обладнаних двосистемними приймачами (тип більшості з них – TRIMBLE NetR5), тобто на них надходять сигнали двох систем – GPS та GLONASS. Цю умову задовольняють перманентні станції, розміщені в північній частині Франції.

Результати спостережень тривалістю десять діб на вибраних перманентних станціях взяті з WEB-сторінки [www.rgp.ign.fr](http://www.rgp.ign.fr). За даними ресурсу [http://www.trimble.com/GNSS Planning Online/ IonoInformation](http://www.trimble.com/GNSS_Planning_Online/IonoInformation) стан іоносфери протягом цих діб був задовільним.

За результатами спостережень сформовані три мережі, схеми яких подані на рисунку.

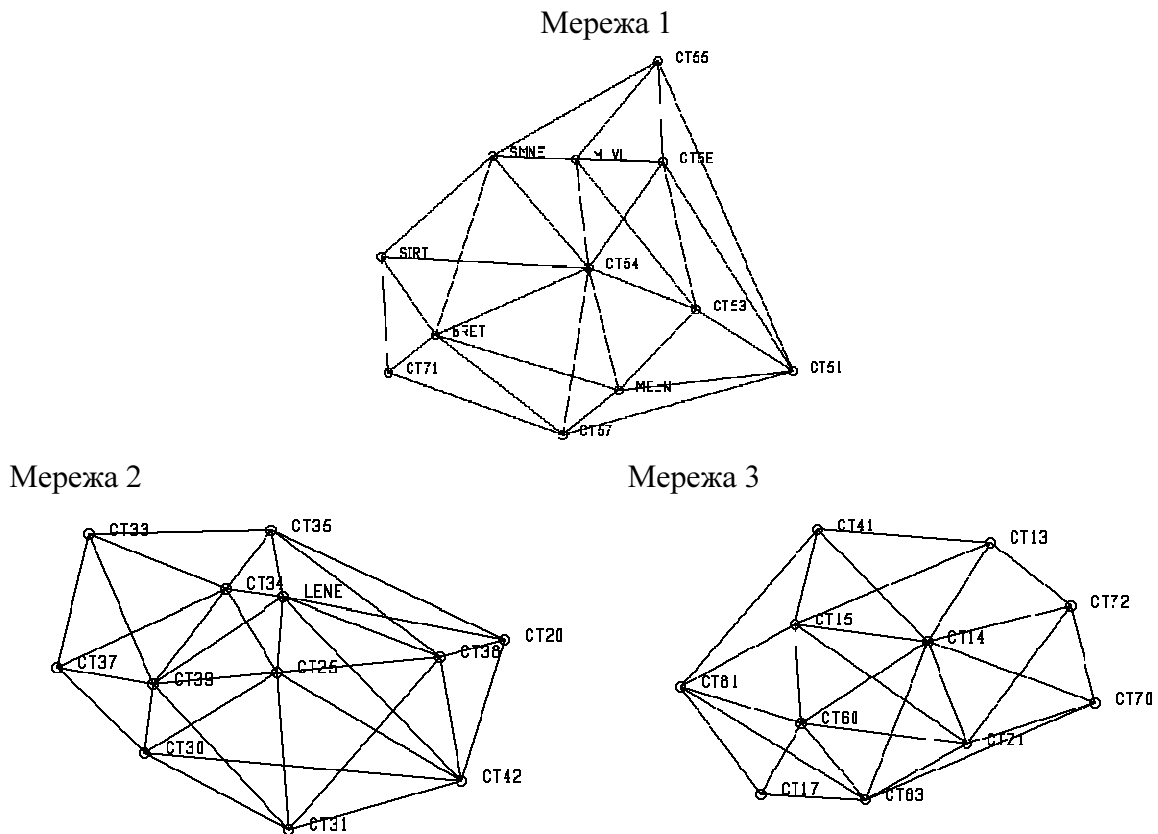


Рисунок. Схеми мереж

Перша з них складається з 12 перманентних станцій та 30 векторів з довжиною від 8,6 до 49,0 км. Середнє значення довжин векторів в мережі становить 21,9 км. Друга мережа складається також з 12 перманентних станцій і 33 векторів, довжина яких становить від 8,6 до 46,7 км, а їх середня довжина – 22,7 км. Третя мережа складається з 11 станцій, з'єднаних між собою 28 векторами з довжиною від 13,4 до 41,1 км, середнє значення довжини векторів – 24,1 км. Отже, мережі сформовані так, що кількість станцій, векторів та їх довжина є близькими за цими показниками.

Опрацювання результатів спостережень виконано програмою Trimble Business Center, яка дає змогу встановлювати будь-які значення кута відсічки, вилучати з опрацювання певні супутники, не брати до уваги результати спостережень на частоті L2. Ці можливості використано для формування сеансів спостережень різної тривалості дво- і одночастотними приймачами за різних кутів відсічки.



На першому етапі були опрацьовані спостереження тривалістю 10 діб та отримані просторові координати пунктів трьох мереж, за якими обчислено їх планові координати в проекції Гаусса–Крюгера. Ці значення координат потрактовано нами в дослідженні як істинні, з ними порівняно планові координати пунктів, отримані зі спостережень дво- і одночастотними приймачами різної тривалості, за різних кутів відсічки.

За період, за який нами взяті результати спостережень, показник GDOP практично не перевищував трьох одиниць, тобто геометрія розташування супутників була задовільною за кількості супутників, не меншої, ніж шість.

Для кожної мережі сформовано по три сеанси спостережень дво- і одночастотними приймачами сигналів супутників двох систем (GPS і GLONASS) тривалістю 12 год, по шість сеансів тривалістю 6 год та по дванадцять сеансів тривалістю 3, 2, 1, 0,5 і 0,25 год, тобто тривалість сеансів така, яку часто використовують в інженерно-геодезичних роботах. Усього сформовано по 69 сеансів для кожної мережі.

Крім того, для порівняння такі самі сеанси були сформовані з результатів спостережень супутників тільки системи GPS.

Кожний із сеансів спостережень супутників двох систем і таку саму кількість сеансів спостережень супутників тільки системи GPS опрацьовано в п'ятьох варіантах, а саме за кутів відсічки  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $15^\circ$  і  $20^\circ$ . Таким чином, усього в кожній мережі опрацьовано 690 сеансів спостережень.

Результатом опрацювання є планові координати пунктів трьох мереж, які порівнювали з їх істинними значеннями. За різницею координат, отриманих з опрацювання, та їх істинними значеннями обчислені СКП координат пунктів та положення пунктів трьох мереж за кожного з кутів відсічки для тривалості всіх сеансів спостережень супутників двох систем і системи GPS. Середні значення середніх квадратичних помилок положення пунктів в міліметрах, отримані за спостереженнями супутників систем GPS і GLONASS, а також супутників тільки системи GPS наведені в таблиці.

### **Висновки:**

1. Чіткої залежності між кутом відсічки та точністю положення пунктів, отриманих за результатами спостережень супутників двох систем і тільки системи GPS, не виявлено, особливо це стосується спостережень двочастотними приймачами. Вона практично не проявляється за кутів відсічки, не більших від  $10^\circ$ . Слід зазначити, що за малих кутів відсічки зростає кількість супутників, сигнали яких приймає приймач, і це, можливо, нівелює негативний вплив проходження сигналів супутників в нижньому шарі тропосфери.

2. За кута відсічки  $15^\circ$  точність положення пунктів, визначених за результатами спостережень супутників двох систем двочастотними приймачами, характеризуються точністю завжди, а під час спостережень одночастотними приймачами – в 76% випадків вищими, ніж за менших кутів відсічки. У разі збільшення кута відсічки до  $20^\circ$  точність положення пунктів під час спостережень двочастотними приймачами підвищується у 81% випадків в середньому на 3,1%, а одночастотними приймачами – у 90% випадків на 3,8%. При цьому точність положення пунктів за збільшення кута відсічки погіршується в основному за малої тривалості сеансів спостережень – 0,25 і 0,5 год.

Таблиця

**Середні значення СКП положення пунктів, мм**

Тривалість сеансу, год	двочастотні					одночастотні				
	Значення кута відсічки, °									
	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Системи GPS і GLONASS</b>										
<b>Мережа №1</b>										
12	5,3	5,4	5,3	5,1	5,0	21,5	21,6	21,6	20,6	19,0
6	6,3	6,3	6,2	5,9	5,9	21,9	22,1	21,9	20,5	19,8
3	6,8	6,9	6,8	6,5	6,4	21,8	21,8	21,9	19,6	18,7
2	7,7	7,7	7,7	7,5	7,2	23,2	23,2	23,3	21,2	20,6
1	7,4	7,4	7,4	7,3	7,1	18,2	18,3	18,2	18,0	17,2
0,5	7,0	7,0	7,0	7,0	7,1	21,1	21,1	21,1	23,5	22,9
0,25	8,2	8,2	8,2	8,2	8,6	26,5	26,5	26,5	31,0	34,3
<b>Мережа №2</b>										
12	5,1	5,1	5,1	4,9	4,7	27,0	27,2	26,9	27,9	24,0
6	6,3	6,3	6,3	6,1	5,9	27,0	27,1	27,0	24,4	23,4
3	6,9	6,9	6,9	6,7	6,4	27,0	27,0	27,0	24,3	23,6
2	7,2	7,3	7,2	7,0	6,8	28,0	27,9	28,0	26,6	25,6
1	8,4	8,4	8,4	7,8	7,4	23,6	23,6	23,4	19,1	18,6
0,5	8,9	8,9	8,9	8,4	7,7	24,6	26,9	26,9	23,6	21,8
0,25	9,2	8,9	9,2	8,1	8,7	26,5	27,5	27,7	24,3	24,3
<b>Мережа №3</b>										
12	4,3	4,4	4,3	4,1	4,0	22,0	22,1	22,0	22,9	22,4
6	5,0	5,0	5,0	4,8	4,7	21,5	21,5	21,5	20,8	18,8
3	5,8	5,8	5,8	5,6	6,4	21,9	21,9	21,9	19,7	19,0
2	6,4	6,4	6,4	6,3	6,2	23,0	23,0	23,0	22,0	21,1
1	5,2	5,2	5,2	4,9	4,8	17,8	17,7	17,8	19,0	15,9
0,5	7,6	7,6	7,6	6,2	6,1	19,8	19,8	19,8	17,8	17,5
0,25	8,3	8,2	8,3	7,1	6,8	18,4	18,6	18,4	17,2	19,7
<b>Система GPS</b>										
<b>Мережа №1</b>										
12	5,4	5,4	4,8	5,3	5,1	20,0	20,2	20,1	18,7	18,4
6	6,3	6,3	6,5	5,7	5,9	19,5	19,5	19,5	19,2	18,5
3	7,0	7,0	7,0	6,9	6,7	20,9	20,9	20,9	20,4	19,9
2	8,1	8,1	8,1	7,9	7,6	22,9	23,0	22,9	22,4	22,0
1	8,2	8,2	8,2	7,7	7,7	19,3	19,3	19,2	19,0	18,7
0,5	8,8	9,4	8,8	7,8	8,0	21,9	21,9	21,9	23,8	23,2
0,25	10,5	10,6	10,5	10,4	9,6	33,0	33,0	33,0	30,5	37,3

Закінчення таблиці

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<b>Мережа №2</b>										
12	4,5	4,4	4,5	4,0	4,1	29,8	29,8	29,8	24,0	22,0
6	5,4	5,4	5,4	5,3	5,2	24,8	24,8	24,8	23,9	23,4
3	6,2	6,2	6,2	6,1	5,9	27,2	27,3	27,2	27,3	25,9
2	6,9	6,9	7,0	6,7	6,4	29,4	29,4	29,4	29,0	27,6
1	7,8	7,8	7,8	7,8	7,2	18,0	18,0	19,0	17,7	17,2
0,5	9,1	9,1	9,1	8,4	7,9	23,3	24,1	23,8	19,9	18,6
0,25	12,2	12,4	12,2	7,9	8,4	27,3	27,4	27,3	32,5	30,2
<b>Мережа №3</b>										
12	4,1	4,1	4,1	3,9	3,6	20,8	20,8	20,8	18,9	17,5
6	4,8	4,8	4,8	4,7	4,4	18,7	18,6	18,7	17,9	17,2
3	5,7	5,6	5,7	5,7	5,5	20,6	20,6	20,6	20,2	19,5
2	6,5	5,9	6,5	6,4	6,4	22,7	22,7	22,7	22,4	21,9
1	5,4	5,7	5,4	5,1	5,1	17,2	17,1	17,2	16,2	15,9
0,5	12,3	12,2	12,3	6,6	6,6	20,0	20,0	20,0	18,2	17,6
0,25	11,6	11,2	11,6	8,4	8,0	23,8	27,3	23,7	24,5	26,3

3. Аналогічно за результатами спостережень двочастотними приймачами тільки супутників системи GPS за кутів відсічки  $15^\circ$  точність визначення положення пунктів є завжди, а одночастотними – у 90% випадків вищою, ніж за менших кутів відсічки. Якщо кут відсічки становить  $20^\circ$ , точність положення пунктів, визначених двочастотними приймачами, зростає у 86% випадків на 3,0 %, а одночастотними приймачами – у 95 % випадків на 3,6%. Зменшення точності положення пунктів за кута відсічки  $20^\circ$  помічено в разі нетривалих сеансів спостережень.

4. Отже, можна стверджувати, що характер впливу кута відсічки на результати спостережень двосистемними приймачами є таким самим, як й односистемними приймачами. Збільшення кута відсічки до  $20^\circ$  підвищує точність положення пунктів несуттєво. Тому для спостережень за допомогою односистемних приймачів достатнім є кут відсічки  $15^\circ$ .

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Інструкція* про побудову державної геодезичної мережі з використанням супутникових радіонавігаційних систем. – Офіц. вид. – К.: Мін-во екології та природних ресурсів України, 2002. – 56 с.
2. Янчук О.Є. Геодезичний моніторинг техногенно-навантажених територій: дис. к.т.н. 05.24.01/ О.Є. Янчук. – Львів., 2011. – 173 с.
3. *GPS guidebook. Standards and Guidelines for Land Surveying Using Global Positioning System Methods.* - State of Washington Department of Natural Resources, 2004. – 66 p.
4. *GPS Standards and Guidelines for Legal Surveying.* [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://www.surveyors.nf.ca/gpsguide.pdf>
5. *Guidelines and Specifications for Global Navigation Satellite System Land Surveys in Connecticut.* - The Connecticut Association of Land Surveyors, Inc, 2008. - 12p.
6. *Guideline for Control Surveys by GNSS: Special Publication 1. Version 2.0.* - Intergovernmental Committee on Survey and Mapping, 2012. – 14 p.

7. *Guidelines for the use of GNSS in land surveying and mapping.* – 2nd edition. - RICS guidance note, 2010. - 82p.

#### Інтернет-джерела

8. *Precyzyjne pozycjonowanie w oparciu o GNSS.* Załącznik nr 2. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://bip.msw.gov.pl/download/4/9204/Zalacznik\\_nr\\_2\\_do\\_rozporzadzenia.pdf](http://bip.msw.gov.pl/download/4/9204/Zalacznik_nr_2_do_rozporzadzenia.pdf)

9. *Principles and Practice of GPS Surveying.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps\\_survey/principles\\_gps.htm](http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/gps_survey/principles_gps.htm)

10. *Proposed standards and specifications for GPS geodetic surveys in Egypt.* - Goma M. Dawod Researcher, Survey Research Institute. [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://nwrcegypt.academia.edu/GomaDawod/Papers/822955/PROPOSED\\_STANDARDS\\_AND\\_SPECIFICATIONS\\_FOR\\_GPS\\_GEODETTIC\\_SURVEYS\\_IN\\_EGYPT](http://nwrcegypt.academia.edu/GomaDawod/Papers/822955/PROPOSED_STANDARDS_AND_SPECIFICATIONS_FOR_GPS_GEODETTIC_SURVEYS_IN_EGYPT)

11. *TxDOT Survey Manual / Texas Department of Transportation, 2011.* – 338 p. [Електронний ресурс]. - режим доступу: [http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/ess/manual\\_notice.htm](http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/ess/manual_notice.htm).

Надійшла до редакції

16.04.2013

УДК 528

Н.В. Кучина

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ КОНЦЕПЦІЇ РОЗРАХУНКУ ТОЧНОСТІ ГЕОДЕЗИЧНИХ РОБІТ ПІД ЧАС МОНТАЖУ КОРПУСІВ СУДЕН

*Розглянуто концепцію розрахунку однієї з ключових характеристик, що впливає на результаційну геометрію корпусу судна, – точності геодезичних робіт під час монтажу корпусів суден. Проаналізовано та класифіковано фактори, що формують остаточну геометрію корпусу судна та впливають на його міцність.*

**Ключові слова:** виробнича модель судна, похибки, розмірний ланцюг.

**Актуальність роботи.** Під час експлуатації і будівництва судно зазнає впливу різноманітних навантажень динамічного і статичного характеру. Головним завданням конструктора є врахування прогнозованого впливу негативних факторів шляхом закладення нормованого запасу міцності на етапі проектування судна.

Міцність конструкції судна – поняття комплексне, для визначення критеріїв надійності, окрім моделей матеріалу, навантаження і руйнування, важливо брати до уваги модель форми конструкції, що фактично описує геометрію її елементів. Виготовлення конструкцій з недостатньою точністю провокує появу додаткового

динамічного навантаження та вібрації, що порушують нормальну роботу і, як наслідок, призводять до руйнування. Для досягнення практичної надійності результативної судової конструкції слід дотримувати запроєктованих геометричних характеристик з достатньою точністю, що дасть змогу забезпечити відтворення її функціональності та міцності згідно з проектом.

**Постановка завдання.** Метою роботи є побудова концепції розрахунку однієї з ключових характеристик, що впливає на результативну геометрію корпусу судна - точності геодезичних робіт під час монтажу корпусів суден.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питання щодо призначення точності геодезичних робіт під час будівництва суден досі перебуває поза увагою геодезистів. Такий стан справ пояснюється тим фактором, що в минулому сторіччі збирання корпусів суден виконували на суднобудівних верфях з використанням найпростішого геодезичного обладнання (сталеві рулетки, технічні нівеліри, оптичні теодоліти середньої точності) без залучення до виробничого процесу інженерів-геодезистів. Нині сучасне геодезичне устаткування дає змогу значно прискорити та автоматизувати процес збирання корпусів суден, а впровадження такого обладнання можливе тільки за участі інженерів-геодезистів. Отже, обов'язковим є призначення комплексної точності як усього процесу, так і окремих видів геодезичних робіт. В таких умовах можна відмітити лише декілька робіт [5; 6] у яких розглянуто питання точності геодезичних робіт. Загалом проблема є зовсім не дослідженою і потребує послідовного поглибленого вивчення.

**Виклад основного матеріалу.** Конкурентність на сучасному ринку суднобудування спонукає до автоматизації виробництва як на стадії проектування, так і в процесі його технологічної підготовки. Такі умови спонукають підвищувати вимоги до організації виробничого процесу. Проекти суден подають в просторовому вигляді, а всі супровідні атрибути конструкції описують у вигляді розподіленої бази даних, що сприяє оперативному наданню вихідних даних на всіх етапах виробництва. Реалізацією концепції представлення проекту судна нині є його виробнича модель (Ship Product Model), в основі якої лежить номінальна геометрична модель проекту судна [1].

Проте процес виробництва супроводжується рядом факторів, які визначають фактичну геометрію складових елементів корпусу судна, отже, і якість виготовлення корпусних конструкцій. Виокремимо ключові з них, проаналізувавши основні етапи технології суднобудування (рис. 1):

- похибки засобів вимірювання;
- похибки обладнання та оснастки;
- похибки технологічних операцій (різання, гнуття, розмічення, методи вимірювання);
- похибки, зумовлені впливом зовнішнього середовища (температури);
- зварювальні деформації;
- похибки розрахунків та виконавців, недотримання технологічної дисципліни.

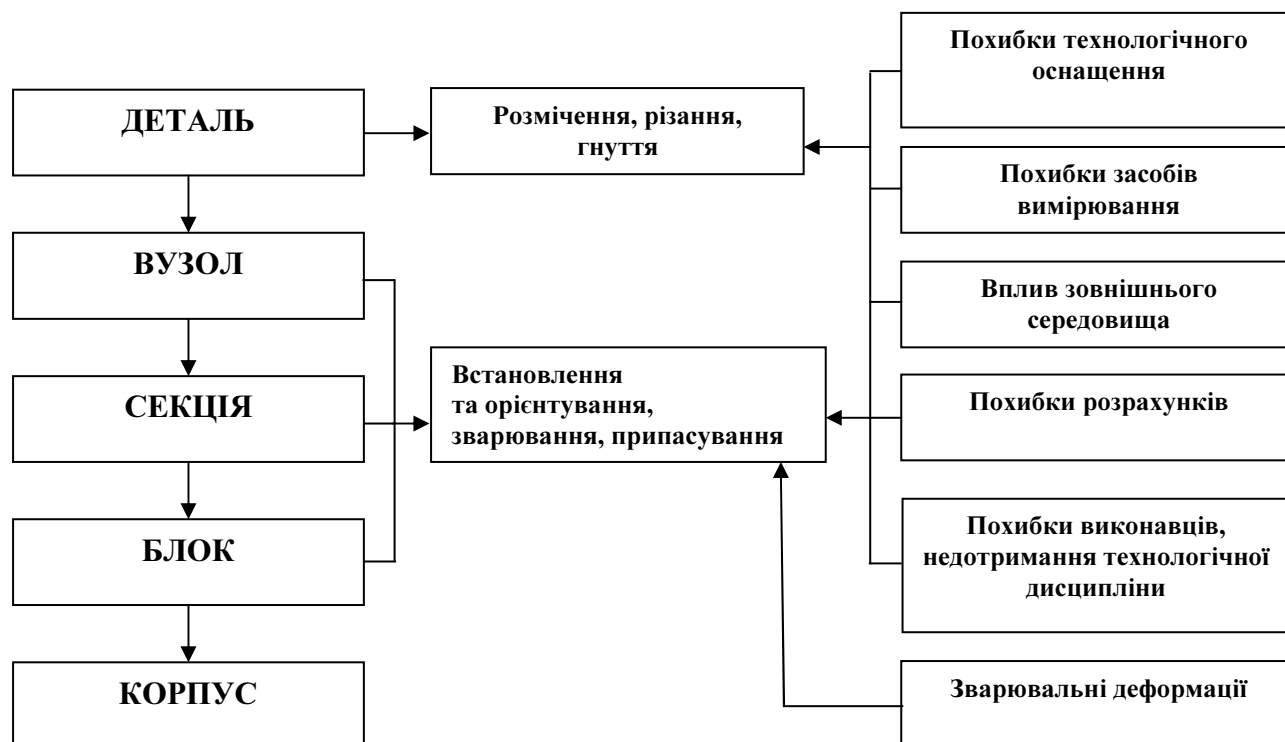


Рис. 1. Основні похибки під час виготовлення корпусу судна

Накопичення похибок призводить до відхилення результативних розмірів конструкції від проектно заданих. Метою технологічної підготовки проекту суднобудування є розроблення раціональної технології виробництва відповідно до таких умов:

- вимоги до якості кінцевої продукції (функціональність та надійність);
- наявні засоби та умови виробництва;
- економічна ефективність виробництва.

З погляду метрологічного забезпечення виробництва постає завдання з визначення оптимальних технологічних допусків. Відправною точкою розв'язання цього завдання є вибір математичної моделі розрахунку, при цьому треба спиратися на такі основні критерії: можливість опису та відображення всіх етапів технології виробництва; гнучкість та простота рішення; врахування фактору накопичення супровідних похибок.

Одним з найуніверсальніших методів розрахунку допусків геометричних параметрів складових частин виробів, що повністю задовольняє зазначеним вимогам, є використання теорії розмірних ланцюгів.

Результати багаторічних теоретичних і практичних досліджень Б.С. Балакшина, Н.А. Бородачева, В.П. Пузанова, С.І. Брука, Б.М. Базрова, П.Ф. Дунаєва та інших учених виявили широкі можливості застосування теорії розмірних ланцюгів, основні з них такі: перевірка забезпечення нормальних умов роботи механізму; раціоналізація конструкції виробів; досягнення потрібної точності їх виготовлення; встановлення допусків та узгодження їх із технологією складання. Використання методу розмірних ланцюгів дає змогу істотно скоротити час і матеріальні витрати на етапі технічної

підготовки виробництва, підвищити якість та скоротити терміни підготовки конструкторської і технологічної документації [2].

У концепції попередньо поставленої задачі похибки, спричинені впливом факторів виробництва, зокрема похибки геодезичних робіт, представлено складовими технологічних розмірних ланцюгів у вигляді допусків на номінальні розміри конструктивних елементів корпусу судна. Виконання розмірного аналізу конструкції дасть можливість визначити технологічні допуски на монтаж та обґрунтувати точність виконання геодезичних робіт відповідно до вимог щодо форми і розмірів корпусу судна.

Нині найбільш відомими роботами з теорії розмірних ланцюгів в геодезії є праці М.Г. Відуєва, С.П. Войтенка, Т.Т. Чмчяна, В.Ф. Лук'янова, В.С. Ситника. Авторами зроблено спроби адаптації методів та підходів теорії розмірних ланцюгів в машинобудуванні до розв'язання задач інженерної геодезії. Загального підходу до виконання попереднього розрахунку точності геодезичних робіт за допомогою методу дотепер не вироблено.

Розмірний аналіз конструкції складається із таких основних послідовних етапів:

1. Визначення задачі розрахунку.
2. Визначення замикальної ланки та її параметрів.
3. Побудова схеми розмірного ланцюга, визначення складових ланок та їх параметрів.
4. Складання рівняння розмірного ланцюга.
5. Розрахунок та порівняння розрахованих та допустимих величин поля розсіювання розмірів замикальної ланки.

Найвідповідальнішим етапом розмірного аналізу конструкції є виявлення розмірного ланцюга та встановлення його замикальної ланки і поля розсіювання її значення. Саме замикальна ланка визначає одні з найважливіших експлуатаційних властивостей виробу, насамперед показники надійності та взаємозамінності. Параметри замикальних ланок розмірних ланцюгів є основними вихідними даними в розрахунку, їх визначають, виходячи з поставленої задачі, на підставі аналітичних даних, розрахунків на міцність та стійкість, експериментальних досліджень, а також досвіду проектування й експлуатації аналогічних виробів.

У визначенні допусків на складові ланки розмірних ланцюгів послуговуються регламентаційними нормативними документами суднобудування [3]. На підставі попереднього аналізу основних вітчизняних і зарубіжних нормативних документів суднобудування встановлено, що в основі більшості наведених технологічних допусків – статистичні дослідження результатів побудови серій суден на ряді суднобудівних заводів. Методичну основу досліджень базують на узагальненні, математичної обробки та аналізі фактичних даних.

Отримані дані не в усіх випадках доцільно брати за основу розрахунку технологічних допусків відповідних виробничих етапів, в тому числі регламентації геодезичного забезпечення суднобудування. Це підтверджують дослідження та практичні апробації вчених-технологів: часто трапляються складні ситуації, коли неможливо за заданим технологічним маршрутом побудови конструкції отримати кінцеву її регламентовану точність. Ситуація особливо ускладнюється під час роботи зі складними просторовими конструкціями, що характеризуються значною кількістю конструктивних зв'язків.

У такому разі регламентовані величини використовують як орієнтовні й ітераційно їх уточнюють у повторних розрахунках. При цьому кожне зменшення поля допуску складової ланки повинно бути обґрунтоване відповідною зміною технології виготовлення або монтажу конструктивних елементів судна

На основі теоретичних та практичних напрацювань розроблено декілька методів досягнення потрібної точності. Кожний з них має переваги і недоліки, застосовують методи вибірково, спираючись насамперед на критерій техніко-економічної доцільності (таблиця ) [2].

Таблиця

### Порівняльна характеристика методів досягнення потрібної точності

Назва методу	Суть та особливості	Переваги/Недоліки	Метод рішення РЛ	Застосування
Повної взаємозамінності	Потрібної точності замикальної ланки досягають шляхом включення складових ланок без вибору, добору або зміни їх значень	Високий рівень автоматизації виробництва/ потрібна точність перевищує досягну в умовах виробництва	Максимумамінімуму	РЛ з малою кількістю складових ланок (до 4-х), невисокі вимоги до замикальної ланки
Неповної взаємозамінності	Потрібної точності замикальної ланки досягають у встановленої частини деталей шляхом включення складових ланок без вибору, добору або зміни їх значень	Високий рівень автоматизації виробництва, менш жорсткі вимоги до точності/ додаткові витрати на заміну або припасування окремих деталей	Імовірнісний	РЛ з малою кількістю складових ланок (до 4-х), невисокі вимоги до замикальної ланки
Групової взаємозамінності	Потрібної точності замикальної ланки досягають шляхом розподілення на відповідні групи	Економічна доцільність точності складових ланок/збільшення відсотка незакінченого виробництва	Максимумамінімуму	РЛ з малою кількістю складових ланок (до 4-х), крупносерійне виробництво
Регулювання	Потрібної точності замикальної ланки досягають завдяки зміні розміру компенсуючої ланки без механічної обробки	Ускладнення конструкції та зборки шляхом введення конструктивного компенсатора	Імовірнісний, максимумамінімуму	РЛ з великою кількістю складових ланок
Прилаштування (технологічної компенсації)	Потрібної точності замикальної ланки досягають завдяки зміні розміру компенсуючої ланки шляхом механічної обробки	Розширені поля допусків складових ланок/підвищена трудомісткість робіт	Імовірнісний, максимумамінімуму	Дрібносерійне виробництво



У суднобудуванні, як відомо, найбільшого поширення набув метод прилаштування, що означає наявність припусків на монтажних кромках ланок-компенсаторів. Проте, як свідчить практика, застосування цього методу призводить до значного збільшення трудомісткості виробництва, загальний обсяг прилаштувальних робіт в середньому сягає 40% загальних збиральних робіт [3].

З метою зменшення обсягу прилаштувальних робіт нині розробляють нові підходи до технології виробництва. Найбільшого успіху в практичному застосуванні здобули: метод удосконалення системи допусків і призначення взаємопов'язаних допусків на точність виготовлення та монтажу корпусних конструкцій на підставі розмірно-технологічного аналізу корпусу судна, підвищення точності вимірів, удосконалення методики виконання геодезичного забезпечення виробництва та методів компенсації зварювальних деформацій; метод удосконалення способів виконання прилаштувальних робіт. З погляду техніко-економічної раціональності більш доцільним є перший шлях розвитку, згідно з яким передбачено впровадження нових сучасних технологій замість морально застарілих та зменшення загальної матеріаломісткості виробництва.

Отже, з викладеного випливає, що під час виконання розмірного аналізу конструкції корпусу судна та визначення раціональних допусків на монтаж його конструктивних елементів важливо брати до уваги такі технологічні моменти, як похибки супутніх факторів виробництва. У наш час досить докладно окремо досліджено методику врахування зварювальних деформацій та вплив температури під час складання корпусів суден у роботах вчених В.С. Михайлова, С.О. Кузьмина, М.В. Орлова, Є.В. Ігошина, проте не застосовано комплексного підходу до сукупності супутніх факторів виробництва, які визначають результаційну геометрію корпусу судна.

**Висновок.** Точність виконання геодезичних робіт з формування корпусів суден є одним із ключових факторів, що впливають на результаційну геометрію корпусу судна. Визначення цього параметра за допомогою доступних методів врахування похибок супутніх факторів виробництва та застосування теорії розмірних ланцюгів дасть змогу отримати техніко-економічно обґрунтовані вихідні дані для розробки методики виконання геодезичного забезпечення виробництва.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Whitfield R.I.* Ship Product Modeling / R.I. Whitfield, A. H. B. Duffy, J. Meehan, and Z. Wu // Journal of Ship Production, Vol. 19, No. 4, November 2003.
2. *Радкевич Я.М.* Метрология, стандартизация и сертификация [Текст]: учеб. для студентов вузов / Я.М. Радкевич, А.Г. Схиртладзе, Б.И. Лактионов. – М.: Высшая шк., 2006. - 800 с.
3. *Точность в судовом корпусостроении* / В.Л. Александров, Л.Ц. Адлерштейн, В.В. Макаров [и др.]. – СПб.: Судостроение, 1994. – 172 с.
4. *Желтобрюх Н.Д.* Технология судостроения и ремонта судов. – Л.: Судостроение, 1990. – 344 с.
5. *Клепиков И.В.* Разработка и исследование методики геодезического обеспечения автоматизированной информационно-измерительной системы для

контроля сборки крупногабаритных конструкций: автореф. на соиск. науч. степени. канд. техн. наук. 05.24.01 /И.В. Клепиков. – Москва, 1991. – 21 с.

6. Федосов К.В. Разработка и исследование метрологического обеспечения производства крупногабаритных конструкций в судостроении (на примере ОАО «ПО «СЕВМАШ»): автореф. на соиск. науч. степени. канд. техн. наук 05.11.15 / К.В. Федосов. – Москва, 2009. – 30 с.

Надійшла до редакції

10.10.2013

УДК 528.7

Л.В. Манукян  
В.А. Маркарян

## СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ КВАЗИГЕОИДА И СЕТИ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИХ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ В РЕСПУБЛИКЕ АРМЕНИИ

*Рассмотрено создание в Республике Армения модели квазигеоида и внедрение сети постоянно действующих GPS-референц станций. Описаны измерения, которые стали основой для создания локальной предварительной модели квазигеоида. На основании дополнительных измерений обоснована необходимость уточнения разницы высот эллипсоидальных поверхностей в системе WGS-84. Приведены основные особенности деятельности референц-станций на основе спутниковых технологий, процесс составления проекта на территории РА постоянно действующей GPS-сети с учетом основных ее факторов.*

**Ключевые слова:** спутник, система, сеть, станция, квазигеоид.

Внедрение спутниковых технологий кардинально изменило построение геодезической сети, требования к наблюдениям и повысило точность измерения координат.

На территории РА всемирная координатная геодезическая система WGS-84 была внедрена в 2002–2007 гг. и были выполнены работы по созданию сетей 0-го, 1-го и 2-го класса [1], а также полностью реконструирована главная высотная основа РА. Созданные сети позволили создать планово-высотную основу в системе для выполнения топографических съемок и других геодезических работ на территории республики.

Исходя из целесообразности решения навигационных, других инженерных задач, предоставления гражданским организациям координат геодезических точек в системе WGS-84, топографических карт различных масштабов был выполнен переход всего масштабного ряда картографических материалов территории РА в упомянутую систему [1].

Государственные нивелирные сети РА – это главная высотная основа для выполнения топографических съемок всех масштабов, кадастровых, картографических и геодезических измерений (которые удовлетворяют экономическим, аэрокосмосъемочным работам и оборонным требованиям), для решения научных и практических заданий. Она делится на I, II, III и IV классы нивелирных сетей.

Нивелирная сеть I и II классов была создана на всей территории республики в Балтийской системе высот 1977 года. Высотная сеть III и IV классов служит для создания топографических планов и решения инженерно-геодезических задач.

В Государственную высотную сеть были включены наблюдаемые в системе WGS-84 пункты 0-го, 1-го и 2-го классов, благодаря чему была осуществлена связь между Балтийской 1972 г. и всемирной высотными системами. Полученная разница абсолютных высот реперов в этих двух системах на территории республики составила на юге 16 м, а на севере – 25 м [2].

При создании государственной нивелирной сети I и II классов на 333 грунтовых реперах наблюдения проводились с помощью GPS станций, в результате чего также получена эллипсоидная геодезическая высота в системе WGS-84.

В настоящее время во всем мире прилагаются усилия относительно принятия единой системы расчета высот. В разных национальных сетях разницы в высотах между точками, определяемые относительно нулевой высоты, доходят до 3 м. Предполагается, что 0-я поверхность (геоид), может определяться спутниковым методом измерения высоты с точностью не менее 20 см, а с внедрением в республике сети постоянно действующих станций и созданием уточненной модели квазигеоида эта точность может быть доведена до 1 см [4].

Итоги вышеназванных измерений явились основой для создания локальной (местной) приближительной модели квазигеоида РА, которую необходимо уточнить на основании дополнительных измерений, получить нормаль и в системе WGS-84 разницы высот эллипсоидальных поверхностей (величина волны геоида).

До сих пор, имея для более 200 пунктов государственной триангуляционной сети значения координат в двух системах, используя формулы Гельмерта, для близлежащих точек с помощью равнозначных линейных величин плановых позиций, получена первая программа по названию подобная ARM xls.

Благодаря внедрению новых технологий швейцарской фирмы “LEICA“ станций GPS Smartstation-ROWER и использованию программного пакета LEICA Geo Office Combined 6.0, получен ARM H-модуль координат с предварительными переходными коэффициентами. Посредством наблюдений 180 плановых точек и 320 GPS-станций рассчитан и получен ARM 3D-модуль с переходными предварительными коэффициентами, которые также требуют уточнения.

Степень точности переходных параметров зависит от количества охваченных точек в обеих системах, особенностей их распределения.

В некоторых горных регионах, где отсутствует необходимое количество высотных наблюдений, в будущем будут реализованы дополнительные измерения для уточнения модели. Таким образом, в РА работы по созданию модели квазигеоида находятся на стадии проверок и уточнения.

В настоящее время для повышения эффективности геодезических работ государственного значения и по требованию существующих в мире мощных устройств и новых технологий актуальной задачей стало внедрение на территории РА референц-станций, в результате чего с развитыми странами сможем иметь работающую в реальном времени современную (единую) централизованную спутниковую геодезическую сеть, которая обеспечит точное определение местоположения мобильных и стационарных объектов. Это даст возможность подытожить современные достижения в направлении модернизации, развития государственной сети в РА, оценить и представить предложения, направленные на перевооружение государственной спутниковой системы, создание новых референц-станций на территории РА [3].

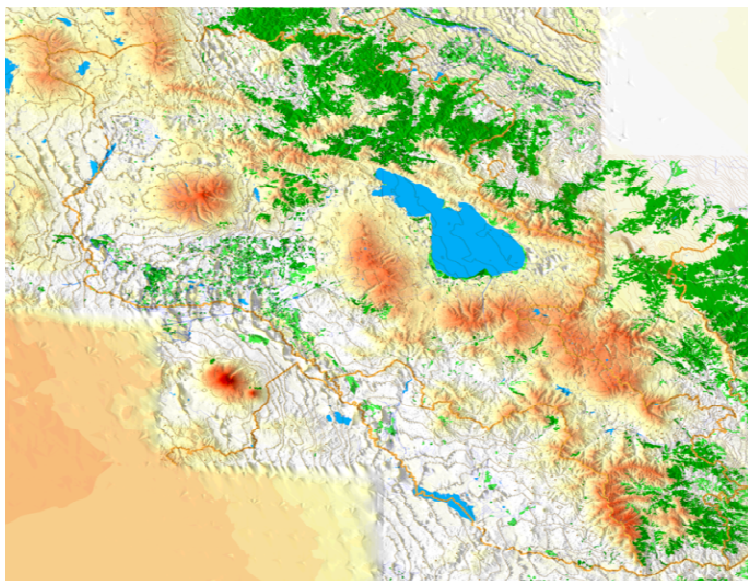


Рис.1. Предварительная модель квазигеоида

Сеть постоянно действующих станций дает возможность с помощью ROWER-станций в реальном времени в зоне охвата покрытия за короткий промежуток времени получать координаты местоположения с сантиметровой точностью. Система данных референц-станций применяется во многих областях позиционирования: в области геодезии и картографии; с целью осуществления мониторинга горизонтальных и вертикальных смещений земной коры; для связи воздуха и космофотографических центров; для определения границ земель, обновления и создания кадастровой картографии, а также архивации и обновления сбора данных геоинформационных систем; в области градостроительства; с целью обеспечения данных с высокой точностью в процессе действия навигационных систем и т.д.

МИД Норвегии 24 октября 2012 года утвердило грант по программе “Инструменты стабильного управления земельными ресурсами”, цель которой – сделать доступными географические данные, карты и услуги по географическому позиционированию, собственной защите, планированию землепользованием и для управления земельными ресурсами. Предполагается создание сети постоянно действующих референц-станций по всей территории РА и один центр контролирования в г. Ереване.

Референц-станции содержат GPS-станции и антенны, которые располагаются на опорных точках геодезической сети и питаются от бесперебойно работающего электрического источника питания. Станция работает по постоянному принципу, принимая и транслируя RTK (в реальном режиме времени кинематической позиции) и DGPS (режим дифференциальной позиции). Эти данные приемлемы и для других GPS, работающих в реальном времени. Во время выполнения топографической геодезической съемки обработка измерений и определение координат точек осуществляется в реальном времени посредством RTK-данных [5].

В настоящее время в США и множестве Европейских стран 95% GPS наблюдений выполняется с помощью RTK-данных. Собранные референц-станциями данные передаются в центр управления (Network Control Centres), где проверяется их целостность и достоверность. Затем информация вводится в геостационарный спутник, который полученные данные ретранслирует в зону общего покрытия референц-станций.

Такое делопроизводство обеспечивает скорую доступность к приемникам пользователей и данным, полученным с референц-станций. Приемники обрабатывают данные, полученные со своих доступных референц-станций, чтобы определить наилучшее позиционное решение.

В зависимости от расстояния (дистанции, дальности) между местоположением приемников и станций, есть возможность использования всей информации одновременно. Такой подход позволяет, дав весовую оценку каждой станции, рассчитать уточнения как функцию расстояния рабочей площади. В результате для каждой рабочей площади будет получен наилучший сборник дифференциальных уточнений.

Для обеспечения покрытия референц-станциями территории РА предусмотрено создание 12 станций радиусом 45 км, места установки которых были выбраны с учетом таких факторов:

- расстояние покрытий с соседними референц-станциями (45 км);
- наличие крупных населенных пунктов;
- связь с главными магистралями;
- наличие метеостанций.

При наличии сети радиусом 45 км дистанция между станциями не превысит 80 км. Благодаря созданию таких сетей в регионе с действующей в кинематическом режиме каждой ROWER-станции и передачей результатов наблюдений в сетевом сервере с помощью программных пакетов местоположения сбалансированных координат средняя квадратическая ошибка не превысит  $\pm 20$  мм [5].

При наличии сети с радиусом 50 км, опыты показывают, что в результате балансировки местоположения точки наблюдения величина средней квадратической ошибки не превысит  $\pm 40$  мм.

В процессе составления проекта постоянно действующей GPS-сети необходим учет следующих факторов:

- наиболее приемлемые методы RTK-связи;
- материальные расходы на установку станции;
- расходы по эксплуатации REFERENC и ROWER-станций;
- расчет расстояний между основными направлениями станций для проверки местоположения антенн.



5. Манукян Л.В. Предпосылки внедрения в РА постоянно действующих референц-станций / Л.В.Манукян, А.А.Амирханян // Сборник научных статей ЕГУАС, т. II (46). – Ереван, 2012. – С. 135-139.

Надійшла до редакції

26.04.2013

УДК 528

Э. Паршялюнас,  
Р. Бирвидене,  
П. Петрошкявичюс,  
Ч. Аксамитаускас,  
Л. Папшене

## АНАЛИЗ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ УТОЧНЕНИЯ КВАЗИГЕОИДА

*Представлена новая гравиметрическая сеть Литвы, которая дала возможность оценить точность гравиметрической карты масштаба 1:200 000 и выявить ее систематические ошибки. Гравиметрические данные новой сети и на их основе созданная цифровая модель разностей ускорения силы тяжести позволили уточнить исходную информацию для определения квазигеоида.*

**Ключевые слова:** гравиметрическая сеть, квазигеоид.

**Постановка проблемы.** Геодезические работы выполняются в неоднородном поле силы тяжести Земли. Поэтому при обработке точных геодезических измерений необходима информация о поле силы тяжести. Такую информацию предоставляют гравиметрические измерения. Особое место при решении геодезических задач и определении высот точек земной поверхности занимают эквипотенциальная поверхность поля силы тяжести, принимаемая за геоид, и поверхность квазигеоида. Определив геодезические высоты точек космическим GPS-методом и зная высоты квазигеоида над эллипсоидом, можно получить нормальные высоты, не выполняя нивелирования. Поэтому очень актуально с наибольшей точностью знать поверхность квазигеоида. Хотя для определения квазигеоида можно использовать данные разных геодезических измерений, но при решении этой задачи главное место занимает данные гравиметрических измерений.

При вычислении квазигеоида территории Литвы в 1994 и 1998 гг. основная гравиметрическая информация была получена с гравиметрической карты Буге-аномалий масштаба 1:200 000. Карта составлена по результатам гравиметрической съемки, выполненной в 1954–1962 гг. Буге-аномалии, средняя квадратическая ошибка которых по данным карты не превышает 0,8 мГал, были вычислены, используя силу тяжести Потсдамской гравиметрической системы, координаты 1942 г., нормальные

высоты Балтийской системы, нормальное поле Гельмерта и плотность земной коры  $2,3 \text{ г/см}^3$ . Для определения квазигеоида использовано около 10 000 точек. Кроме того, использованы гравиметрические данные 103 пунктов третьего класса, которые служили основой для гравиметрической съемки. Указано, что средняя квадратическая ошибка ускорения силы тяжести на этих пунктах не превышает  $0,35 \text{ мГал}$ . Были также использованы данные 21 гравиметрического пункта второго класса. Ускорение силы тяжести на этих пунктах определено со средней квадратической ошибкой  $0,2 \text{ мГал}$ . Измерения выполнены в 1968 г. Для определения квазигеоида использованы гравиметрические данные части Куршского залива (771 точка) и прибрежной части Балтийского моря (897 точек). Эти измерения ускорения силы тяжести выполнены в 1968–1974 гг. в Куршском заливе со средней квадратической ошибкой  $0,15 \text{ мГал}$ , в море –  $0,32 \text{ мГал}$ .

Для вычислений квазигеоида все гравиметрические данные редуцированы с Потсдамской гравиметрической системы в систему IGSN 71, используя поправку  $14 \text{ мГал}$ . Координаты гравиметрических пунктов вычислены в новой координатной системе Литвы LKS 94 (совпадающей с Европейской системой ETRS 89), использующей эллипсоид GRS 80. Аномалии силы тяжести были вычислены с применением нормального поля GRS 80 и плотности земной коры  $2,67 \text{ г/см}^3$ .

Вычисления квазигеоида выполнены в тесном сотрудничестве со специалистами рабочей группы по определению геоида Геодезической комиссии Северных стран (NKG), используя гравиметрические и геодезические данные не только территории Литвы, но и всего региона Балтийского моря, а также модели геопотенциала, которые имелись в базе данных рабочей группы. Как показали исследования [1; 2] высоты квазигеоида были определены с точностью до нескольких сантиметров.

Для повышения точности высот квазигеоида были необходимы новые гравиметрические измерения.

**Анализ последних исследований.** Созданием новой гравиметрической сети Литвы занялся Институт геодезии Вильнюсского технического университета имени Гедиминаса. Работы выполнялись по заказу Земельной службы Литвы. Создание сети началось с абсолютных измерений силы тяжести. Эти измерения в 1994 и 2002 годах выполнил научный сотрудник Финского геодезического института Jaakko Mäkinen баллистическим гравиметром *JLLAg-5* [3]. Измерения были произведены на трех пунктах, которые находятся в городах Вильнюс, Клайпеда и Паневежис. Ускорение силы тяжести определено со средней квадратической ошибкой  $5 \text{ мкГал}$ . Результаты этих измерений и стали основой гравиметрической системы Литвы LSS07. Для распространения этой системы на всю территорию страны в 1998–2001 гг. была создана гравиметрическая сеть первого класса [4; 5], объединяющая 51 пункт. Измерения выполнены в сотрудничестве с институтом Геодезии и картографии Польши. Измерения выполнялись тремя–шестью гравиметрами LaCoste & Romberg, принадлежащими институту Польши и NGA (NIMA). Калибровка гравиметров производилась на гравиметрических базах Вильнюс – Паневежис и Борова Гора – Гданск. Дальнейшим этапом сгущения гравиметрической сети стало создание сети второго класса [6; 7]. Измерения на пунктах этой сети произведены в 2007–2009 гг. четырьмя гравиметрами Scintrex CG-5. Теперь гравиметрическая сеть Литвы объединяет 686 пунктов (рис. 1).



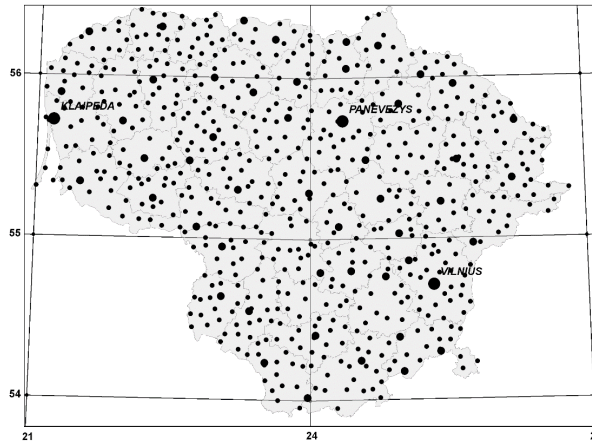


Рис. 1. Пункты гравиметрической сети

После уравнивания сети выяснилось, что средняя квадратическая ошибка уравниваемых значений ускорения силы тяжести не превышает 3 мкГал.

**Цель статьи и постановка задачи.** С созданием новой гравиметрической сети появилась свежая информация о поле силы тяжести территории Литвы и возможность уточнить поверхность квазигеоида. Появилась также возможность оценить точность ускорения силы тяжести, получаемой по гравиметрической карте, которая содержит основную информацию о поле силы тяжести территории Литвы при определении квазигеоида. Результаты этих исследований и предоставлены в этой статье.

**Изложение основного материала.** Для оценки точности значений силы тяжести получаемых по гравиметрической карте, эти значения были вычислены в пунктах гравиметрической сети. Сначала были вычислены координаты гравиметрических пунктов в системе 1942 года. Значения аномалий Буге в пунктах гравиметрической сети определялись интерполированием. Ускорения силы тяжести на поверхности земли в Потсдамской системе  $g_{Pz}$  по аномалиям Буге  $(g_{Pz} - \gamma_H)_\delta$  вычислялись с использованием формулы:

$$g_{Pz} = (g_{Pz} - \gamma_H)_\delta + \gamma_H^0 + 0,0419\delta H_{Bz} - 0,3086 H_{Bz}, \quad (1)$$

где  $\gamma_H^0$  – ускорение силы тяжести в нормальном поле Гельмерта на поверхности эквипотенциального эллипсоида;

$$\gamma_H^0 = 978030 (1 + 0,005302 \sin^2 B_{42} - 0,000007 \sin^2 2B_{42}); \quad (2)$$

$B_{42}$  – геодезическая широта 1942 г.;  $\delta = 2,30$  г/см<sup>3</sup> – плотность пород промежуточного слоя;  $H_{Bz}$  – нормальная высота поверхности Земли в Балтийской системе.

Редуцирование значения ускорения силы тяжести с поверхности земли на высоту  $H_B$  гравиметрического пункта выполнялось по формуле

$$g_P = g_{Pz} + dg \quad . \quad (3)$$

Если  $H_{Bz} > H_B$ , то

$$dg = \Delta\gamma_H(h) - 2 \cdot 0,0419 \delta h, \quad (4)$$

где  $\Delta\gamma_H(h)$  – поправка за высоту в нормальном поле Гельмерта,

$$\Delta\gamma_H(h) = 0,30855 (1 + 0,00071 \cos 2B_{42})h - 0,0723h^2 \cdot 10^{-6}, \quad (5)$$

$$h = H_{Bz} - H_B.$$

Если  $H_{Bz} < H_B$ , то

$$dg = -\Delta\gamma_H(h), \quad (6)$$

где  $h = H_B - H_{Bz}$ .

Вычислены разности между значениями ускорения силы тяжести, полученными по гравиметрической карте и определенные измерениями в гравиметрических пунктах. Эти разности изменяются в пределах от 10,743 мГал до 17,755 мГал. Среднее значение разности – 13,930 мГал. Она и выражает среднюю разность между Потсдамской гравиметрической системой и гравиметрической системой Литвы на ее территории. Также составлена цифровая модель этих разностей (рис. 2). Она показывает систематические ошибки значений ускорения силы тяжести определяемых по гравиметрической карте.

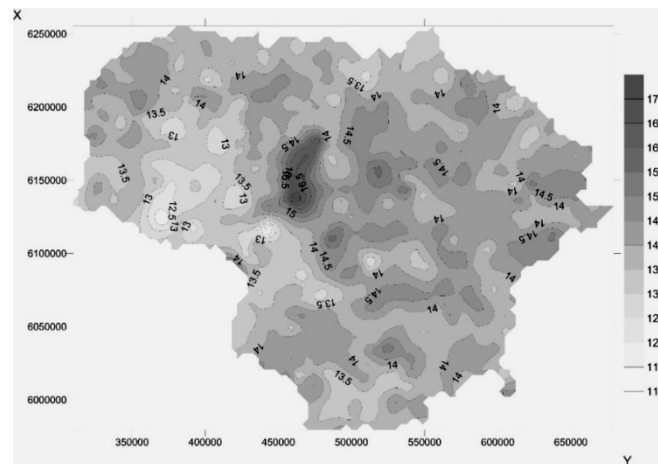


Рис. 2. Модель разностей ускорения силы тяжести (мГал)

Эти ошибки также относятся и к значениям ускорения силы тяжести на пунктах сети третьего класса, которые служили основой гравиметрической съемки территории Литвы. После элиминирования среднего значения разностей, была определена средняя квадратическая ошибка разностей, и с учетом точности измерений в гравиметрических пунктах получено, что средняя квадратическая ошибка ускорения силы тяжести, определенная по гравиметрической карте, равна 0,7 мГал.

Модель разностей ускорения силы тяжести может быть использована для редуцирования значений ускорения силы тяжести, полученной с гравиметрической карты, на гравиметрическую систему Литвы с учетом систематических ошибок. Для оценки такого редуцирования были использованы новые гравиметрические измерения на 228 пунктах вертикальной геодезической сети. Измерения производились в 2010–2012 гг. гравиметрами Scintrex CG-5, средняя квадратическая ошибка определений силы тяжести не превышала 14 мкГал. Для этих точек значения ускорения силы тяжести также были определены по гравиметрической карте с использованием модели разностей. Расхождение таким образом полученных значений ускорения силы тяжести от измеренных значений показаны на рис.3.

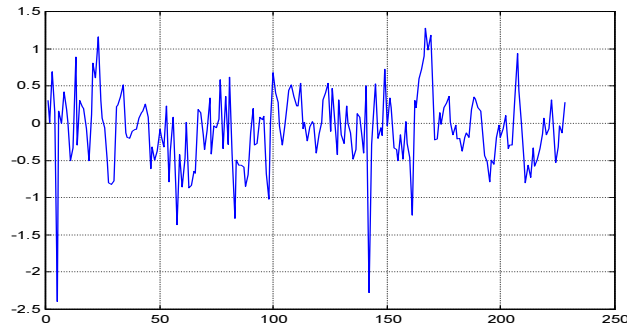


Рис. 3. Разности ускорения силы тяжести (мГал)

Средняя квадратическая ошибка ускорения силы тяжести, полученная по гравиметрической карте с учетом модели разностей уменьшилось от 0,7 мГал до 0,5 мГал.

Для уточнения квазигеоида территории Литвы представлены гравиметрические данные новой гравиметрической сети. Значения ускорения силы тяжести, полученные по гравиметрической карте, редуцированы на гравиметрическую систему Литвы, используя модель разностей ускорения силы тяжести. Также редуцированы и данные пунктов третьего класса.

Для всех гравиметрических пунктов вычислены аномалии силы тяжести [8]. Если измерения ускорения силы тяжести производились на глубине  $h$ , то аномалия силы тяжести в свободном воздухе  $(g - \gamma_{80})$  на поверхности Земли вычислялась по формуле

$$(g - \gamma_{80}) = g - \gamma_{80}^0 + \Delta\gamma_{80}(H_{7z} - h) + 2\Delta g_{\delta}(h) + \Delta g_a(H_{7z}), \quad (6)$$

где  $\gamma_{80}^0$  – ускорения силы тяжести нормального поля GRS 80

$$\gamma_{80}^0 = \gamma_{80e}^0 \frac{1 + k_{80} \sin^2 B_{94}}{\sqrt{1 - e_{80}^2 \sin^2 B_{94}}}, \quad (7)$$

$\gamma_{80e}^0 = 978032,67715$  мГал,  $e_{80}^2 = 0,00669438002290$ ,  $k_{80} = 0,001931851353$  – параметры нормального поля GRS 80 [9];  $B_{94}$  – геодезическая широта LKS 94;  $H_{7z}$  – нормальная высота поверхности Земли в геодезической вертикальной системе LVS07 Литвы;

$$\Delta\gamma_{80}(h) = 0,30877(1 - 0,00142 \sin^2 B_{94})h - 0,75 \cdot 10^{-7} h^2 \quad (8)$$

– поправка за высоту в нормальном поле GRS 80 (мГал,  $h$  в метрах);

$$\Delta g_{\delta}(h) = 2\pi G \delta h \quad (9)$$

- поправка за промежуточный слой;

$G = 6,67259 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ кг}^{-1} \text{ с}^{-2}$  - гравитационная постоянная;

$$\Delta g_a(H_{7z}) = 0,874 - 0,99 \cdot 10^{-4} H_{7z} + 0,356 \cdot 10^{-8} H_{7z}^2 \quad (10)$$

– поправка за атмосферу (мГал,  $H_{7z}$  в метрах).

Если измерения ускорения силы тяжести производились на высоте  $h$  над поверхностью Земли, то аномалия силы тяжести в свободном воздухе на поверхности Земли вычислялась по формуле

$$(g - \gamma_{80}) = g - \gamma_{80}^0 + \Delta\gamma_{80}(H_{7z} + h) + \Delta g_a(H_{7z}). \quad (11)$$

Для вычисления аномалий Буге использовалась формула

$$(g - \gamma_{80})\delta = (g - \gamma_{80}) - \Delta g_\delta(H_{7z}). \quad (12)$$

Если ускорение силы тяжести  $g$  измерены на высоте  $h$ , над поверхностью воды, то значение ускорения на поверхности воды  $g_j$  определялась по формуле

$$g_j = g + \Delta\gamma_{80}(h). \quad (13)$$

При измерении силы тяжести на глубине  $h$ , ее значение на поверхности воды вычислялась по формуле

$$g_j = g - \Delta\gamma_{80}(h) + 4\pi G \rho_{1,03} h. \quad (14)$$

Аномалия силы тяжести в свободном воздухе, по значению ускорения силы тяжести на поверхности воды, определялась по формуле

$$(g - \gamma_{80}) = g_j - \gamma_{80}^0 + 0,874, \quad (15)$$

где 0,874 мГал – поправка за притяжения атмосферы на поверхности моря.

При вычислении аномалий Буге плотность морской воды увеличивалась до средней плотности Земной коры

$$(g - \gamma_{80})_\delta = (g - \gamma_{80}) + 2\pi G(\delta - 1,03)h_j, \quad (16)$$

где  $h_j$  – глубина моря.

**Выводы.** Для уточнения квазигеоида территории Литвы использованы данные новой гравиметрической сети, которая объединяет 686 пунктов. Средняя квадратическая ошибка урвненных значений ускорения силы тяжести на этих пунктах, не превышает 3 мкГал.

С использованием данных гравиметрической сети выполнена оценка точности гравиметрической карты масштаба 1:200 000. Выяснено, что средняя квадратическая ошибка значений ускорения силы тяжести, полученных по карте - 0,7 мГал.

Составлена цифровая модель разностей между значениями ускорения силы тяжести, полученных по карте, и измерениями гравиметрической сети. Используя эту модель для перехода от значений ускорения, полученных по карте, к значениям в гравиметрической системе Литвы, средняя квадратическая ошибка ускорения уменьшилась до 0,5 мГал.

Новая гравиметрическая система Литвы LSS07 принята на основании абсолютных гравиметрических измерений. Среднее значение разности ускорений Потсдамской и LSS07 гравиметрических систем на территории Литвы – 13,93 мГал.

Аномалии силы тяжести для уточнения квазигеоида вычислены с учетом разностей гравиметрических, а также геодезических координатных и высотных систем.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Petroškevičius P.* Determination of the Lithuanian territory Geoid / P. Petroškevičius, E. Paršeliūnas // *Geodesy and Cartography*, 1995. – No 2 (22). – P. 50–58.
2. *Būga A.* National report of Lithuania / A. Būga, P. Petroškevičius, E. Šleiteris, A. Zakarevičius // *Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) held in Prague, 2-5 June 1999.* – München, 1999. – P. 186-190.

3. *Mäkinen J.* Absolute-gravity measurements in Lithuania, Estonia and Latvia in 1994–1995 / J. Mäkinen, P. Petroškevičius, H. Sildvee, J. Kaminskis // European Geophysical Society, Annals Geophysicae: Supplement I to Volume 14. 1996. – P. C 231.
4. *Sas-Uhrynowski A.* Establishment of Lithuanian national gravimetric first order network / A. Sas-Uhrynowski, S. Mroczek, A. Sas, P. Petroškevičius, R. Obuchovski, D. Rimkus // Geodezija ir kartografija, 2002. – XXVIII, No 3. – P. 75-82.
5. *Paršeliūnas E.K.* Quality of Lithuanian national gravimetric network /E.K. Paršeliūnas, P. Petroškevičius // Harita dergisi: proceedings of the 1st International Symposium of the International Gravity Field Service, 2007, spec. iss. 18. – P. 388-392.
6. *Paršeliūnas E.* Some issues of the national gravimetric network development in Lithuania /E. Paršeliūnas, R. Obuchovski, R. Birvydienė, P. Petroškevičius, A. Zakarevičius, V.Č. Aksamitauskas, M. Rybokas // Journal of vibroengineering, 2010, Vol.12. – P. 685-690.
7. *Paršeliūnas E.* An investigation of the automatic relative gravimeters / E. Paršeliūnas, P. Petroškevičius, R. Obuchovski, R. Birvydienė // Mechatronic Systems and Materials V. Solid State Phenomena. Switzerland: Trans Tech Publications Ltd. 2013, Vol. 199, – P. 261-266.
8. *Torge W.* Gravimetry / W. Torge. – Berlin; New York: W. de Gruyter, 1989. – 465 p.
9. *Moritz H.* Geodetic Reference System 1980. / H. Moritz// Bull. Géod, 1994. –58 (3), – P.388–398.

Надійшла до редакції

10.03.2014

УДК 528.48

**Р.В. Шульц,  
А.О. Анненков,  
О.В. Мельник,  
А.М. Хайлак**

## **ОБРОБЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ОСІДАННЯМИ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ФІЛЬТРАЦІЇ ЗА КАЛМАНОМ**

*Наведено загальні відомості про теорію фільтрації вимірювань за допомогою фільтра Калмана. На підставі аналогії до оброблення результатів динамічних спостережень за рухомими об'єктами та обробленням результатів геодезичних спостережень за переміщеннями й осіданням інженерних споруд, висловлено припущення про можливість використання фільтрації за Калманом для оброблення геодезичних спостережень. Виконано експериментальну перевірку роботи для фільтрації за Калманом оцінювання кінематичних параметрів осідального процесу на прикладі спостережень за осіданням гідротехнічної споруди.*

**Ключові слова:** *фільтр Калмана, матриця переходу, матриця підсилення, кореляційна матриця, вектор станів, згладжування, прогнозування.*

**Постановка проблеми.** Термін «фільтрація» прийшов в геодезію з електроніки, де ним позначають отримання потрібної інформації із сигналу, спотвореного певним типом небажаного шуму. Останнім часом цей термін набув ширшого значення: ним позначають оптимальне оцінювання шуканих параметрів шляхом фільтрування даних спостережень від різних похибок (шумів). На перший погляд, задача фільтрації подібна до задачі вирівнювання, проте між ними помітні суттєві відмінності. Одна з них полягає в тому, що шукані параметри в задачі фільтрації є випадковими величинами, як і похибки вимірювання. Друга відмінність полягає у тому, що фільтрація пов'язана з неперервними, залежними від часу функціями, пов'язаними з роботою динамічних систем.

Оптимальне прогнозування та фільтрацію широко застосовують у телекомунікаційних системах, контрольних та керівних системах, навігації в режимі реального часу та для розв'язання інших задачами. Сучасні геодезичні технології також належать переважно до класу неперервних вимірювальних засобів. Прикладом таких технологій є супутникові глобальні навігаційні системи, інерціальні навігаційні системи, геодезичні автоматизовані системи деформаційного моніторингу та ін. Застосування таких систем потребує більш досконалого методу оброблення спостережень основою. якого, як і раніше, повинен бути принцип методу найменших квадратів.

Сучасний рівень точності та якості геодезичних спостережень дає змогу відслідковувати дуже незначні зміни в положенні та орієнтації різних об'єктів – від локальних мікроскопічних за розмірами до глобальних в загальноземному масштабі, таких як, наприклад, земні континенти. Фактично досягнута точність геодезичних вимірювань дала можливість виявити безперервні переміщення будь-яких об'єктів у природі, що сприяло широкому впровадженню концепції переходу від статичної до кінематичної геодезії. Нині актуальним є широке впровадження методів оброблення результатів кінематичних спостережень, одним з яких є метод фільтрації за Калманом. Очевидною є пряма аналогія між спостереженнями за динамічними системами та спостереженнями за інженерними спорудами, які перебувають під впливом деформаційного процесу. З другого боку, існує аналогія між шумом вимірювань або сигналу та похибками геодезичних вимірювань, в переважній більшості випадків вони навіть підлягають одному закону розподілу (нормальному закону). Все це відкриває широкі перспективи застосування фільтра Калмана в інженерно-геодезичній практиці.

**Огляд попередніх публікацій.** Уперше алгоритм фільтра Калмана описано в піонерській роботі Рудольфа Калмана в 1961 році. Першим вдалим прикладом застосування фільтра Калмана стало оцінювання параметрів руху космічного апарата за результатами вимірювань. З того часу фільтр Калмана увійшов практично до всіх галузей науки і техніки, що мають справу з об'єктами, які згодом змінюють свої характеристики. В геодезичній практиці фільтр Калмана набув широкого застосування з появою ГНСС-технологій. За своєю ідеологією супутникові вимірювання можна віднести до категорії кінематичних з одночасним вимірюванням динамічних параметрів. На цій стадії процедура оброблення вимірювань стосується переважно служб, що обслуговують ГНСС.

Значний прорив стався завдяки розробленню таких технологій ГНСС-вимірювань, як кінематичне знімання та кінематичне знімання в реальному часі.

Відтоді кількість публікацій стосовно такого застосування фільтра Калмана почала стрімко зростати. Достатньо згадати роботи [1-4], у яких використання фільтра Калмана висвітлено й іншу його особливість – можливість комплексування інформації від різних вимірвальних пристроїв. Впровадження ГНСС-технологій у сферу інженерної геодезії принесло в цю галузь і методи оброблення спостережень за допомогою фільтра Калмана. В цілому ряді робіт, як, наприклад [5], розглянуто питання оброблення ГНСС-вимірювань під час спостережень за деформаціями інженерних споруд. Перевага фільтра Калмана, яка полягає у можливості одночасного оброблення різного типу інформації, зумовила широке його використання у створенні комплексних автоматизованих систем геодезичного моніторингу на базі ГНСС-технологій [6]. Перші спроби використати фільтрацію за Калманом для оброблення традиційних геодезичних вимірювань (нівелювання, лінійно-кутові мережі та ін.) здійснено в працях проф. В.К. Панкрушина. Учений узагальнив свій досвід у монографії [7], застосувавши цей метод для моделювання рухів земної поверхні. Аналогічне застосування можна знайти в роботі [8]. Попри значні досягнення питання використання фільтра Калмана для оброблення звичайних спостережень за осіданнями і деформаціями інженерних споруд залишається недостатньо дослідженим.

**Постановка завдання.** Головне завдання роботи – на основі аналогії між обробленням результатів динамічних спостережень за рухомими об’єктами та обробленням результатів геодезичних спостережень за переміщеннями та осіданнями інженерних споруд дослідити можливість використання фільтрації за Калманом для оброблення геодезичних спостережень з метою оцінювання кінематичних параметрів осідального процесу.

**Виклад основного матеріалу.** Поняття про фільтр Калмана безпосередньо пов’язане з поняттям динамічної системи, наведемо основні поняття та визначення, що їх використовують для опису динамічних систем. Динамічна система описується своєю моделлю, яка також може бути описана набором параметрів. Наприклад, під час кінематичного знімання з використанням ГНСС-приймача його положення може бути описане через координати ( $X, Y, Z$ ) та їх похідні в часі. Вектор, що містить ці параметри, називають вектором стану динамічної системи. Характеристики лінійної системи можуть бути описані рівнянням [9]:

$$\dot{\mathbf{X}}(t) = \mathbf{\Phi}(t) \mathbf{X}(t) + \mathbf{H}(t) \mathbf{v}(t), \quad (1)$$

де  $\mathbf{X}(t)$  – вектор стану динамічної системи;  $\dot{\mathbf{X}}(t)$  – похідна від вектора стану;  $\mathbf{\Phi}(t)$  – матриця переходу динамічної системи;  $\mathbf{H}(t)$  – матриця переходу для вектора шуму системи;  $\mathbf{v}(t)$  – вектор шуму системи.

Шум системи  $\mathbf{v}(t)$  характеризується таким математичним сподіванням та кореляційною матрицею (загалом залежними від часу):

$$M(\mathbf{v}(t)) = 0; M(\mathbf{v}(t_1) \mathbf{v}(t_2)^T) = \mathbf{D}(t) \cdot \delta(t_2 - t_1), \quad (2)$$

де  $\delta(t)$  – функція Дірака, що визначається як  $\delta(\tau) = 0$  для  $\tau \neq 0$ ,  $\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(\tau) d\tau = 1$ .

Оцінку вектора стану отримують із спостережень, що пов’язані з цим вектором, таким рівнянням [9]:

$$\mathbf{I}(t) = \mathbf{A}(t)\mathbf{X}(t) + \boldsymbol{\varepsilon}(t), \quad (3)$$

де  $\mathbf{I}(t)$  – вектор спостережень (загалом залежний від часу);  $\mathbf{A}(t)$  – матриця коефіцієнтів рівнянь поправок;  $\boldsymbol{\varepsilon}(t)$  – вектор похибок спостережень.

Вектор похибок спостережень  $\boldsymbol{\varepsilon}(t)$  має такі характеристики:

$$M(\boldsymbol{\varepsilon}(t)) = \mathbf{0}; M(\boldsymbol{\varepsilon}(t_1)\boldsymbol{\varepsilon}(t_2)^T) = \mathbf{C}(t) \cdot \delta(t_2 - t_1), \quad (4)$$

Шум системи  $\mathbf{v}(t)$  та похибки спостережень  $\boldsymbol{\varepsilon}(t)$  вважають не корельованими між собою:

$$M(\mathbf{v}(t_1)\boldsymbol{\varepsilon}(t_2)^T) = \mathbf{0}. \quad (5)$$

Рівняння (1) має назву рівняння стану, а рівняння (3) – рівняння спостережень. Ці два рівняння разом зі статистичними моделями (2), (4) та (5) утворюють математичну модель неперервної лінійної динамічної системи. Проблема оцінювання вектора  $\mathbf{X}(t)$  з вектором  $\mathbf{I}(t)$  за допомогою неперервної моделі стану можна вирішити аналітично, однак задачі, що виникають в геодезії, можуть бути зведені до дискретних моделей.

У такому випадку рівняння стану та рівняння спостережень дискретної лінійної динамічної системи можуть бути записані [10], як:

$$\mathbf{X}_k = \Phi_{k,k-1} \mathbf{X}_{k-1} + \mathbf{H}_k \mathbf{v}_k \quad (k = 1, 2, 3, \dots), \quad (6)$$

$$\mathbf{I}_k = \mathbf{A}_k \mathbf{X}_k + \boldsymbol{\varepsilon}_k \quad (k = 1, 2, 3, \dots). \quad (7)$$

Позначення у виразах (6), (7) відповідають позначенням (1) та (3) з тією різницею, що всі величини є дискретними і залежать від індексу  $k$ . Вектори  $\mathbf{v}_k$  і  $\boldsymbol{\varepsilon}_k$  називають білим шумом з такими статистичними характеристиками:

$$\begin{aligned} M(\mathbf{v}_k) &= \mathbf{0}; M(\mathbf{v}_k \mathbf{v}_j^T) = \mathbf{D}_k \cdot \delta_{kj}; \\ M(\boldsymbol{\varepsilon}_k) &= \mathbf{0}; M(\boldsymbol{\varepsilon}_k \boldsymbol{\varepsilon}_j^T) = \mathbf{C}_k \cdot \delta_{kj}; \\ M(\mathbf{v}_k \boldsymbol{\varepsilon}_j^T) &= \mathbf{0}; \delta_{kj} = \begin{cases} 1, & k = j \\ 0, & k \neq j. \end{cases} \end{aligned} \quad (8)$$

Тепер розглянемо загальний випадок для довільного  $k$ . Рівняння стану та рівняння спостережень мають вигляд [10]:

$$\mathbf{X}_k = \Phi_{k,k-1} \mathbf{X}_{k-1} + \mathbf{H}_k \mathbf{v}_k, \quad (9)$$

$$\mathbf{I}_k = \mathbf{A}_k \mathbf{X}_k + \boldsymbol{\varepsilon}_k, \quad (10)$$

де  $\mathbf{I}_k$  або  $(\boldsymbol{\varepsilon}_k)$  має кореляційну матрицю  $\mathbf{K}_k$  і вагову матрицю  $\mathbf{K}_k = \mu_0^2 \mathbf{P}_k^T$ .

Використовуючи оптимальну оцінку  $\hat{\mathbf{X}}_{k-1}$ , що отримана на  $k-1$  першому кроці фільтрації, отримуємо прогнозоване значення параметрів  $\mathbf{X}_k$  з рівняння вектора станів:

$$\hat{\mathbf{X}}_{k,k-1} = \Phi_{k,k-1} \hat{\mathbf{X}}_{k-1,k-1}, \quad (11)$$

з кореляційною матрицею похибки прогнозування:

$$\mathbf{K}_{k,k-1} = \Phi_{k,k-1} \mathbf{K}_{k-1,k-1} \Phi_{k,k-1}^T + \mathbf{H}_k \mathbf{D}_k \mathbf{H}_k^T = \mu_0^2 (\mathbf{P}_{k,k-1}^X)^{-1}. \quad (12)$$



Використовуючи вектор нових спостережень  $\mathbf{I}_k$  і псевдоспостереження  $\hat{\mathbf{X}}_{k,k-1}$  з кореляційною матрицею  $\mathbf{K}_{k,k-1}$ , оптимальну оцінку  $\mathbf{X}_k$ , яку записують як  $\hat{\mathbf{X}}_{k,k}$  отримують на підставі принципу методу найменших квадратів [9]:

$$\hat{\mathbf{X}}_{k,k} = \hat{\mathbf{X}}_{k,k-1} + \mathbf{G}_k (\mathbf{I}_k - \mathbf{A}_k \hat{\mathbf{X}}_{k,k-1}), \quad (13)$$

де  $\mathbf{G}_k = (\mathbf{A}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{A}_k + \mathbf{P}_{k,k-1}^X)^{-1} \mathbf{A}_k^T \mathbf{P}_k$  – матриця підсилення Калмана.

Кореляційну матрицю  $\hat{\mathbf{X}}_{k,k}$  позначають, як  $\mathbf{K}_{k,k}$  [9]:

$$\mathbf{K}_{k,k} = (\mathbf{A}_k^T \mathbf{K}_{k-1}^{-1} \mathbf{A}_k + (\mathbf{K}_{k,k-1})^{-1})^{-1} = \mu_0^2 (\mathbf{A}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{A}_k + \mathbf{P}_{k,k-1}^X)^{-1} = \mu_0^2 (\mathbf{P}_{k,k}^X)^{-1}. \quad (14)$$

Однією з найбільших переваг фільтра Калмана є те, що на кожному кроці оброблення немає потреби зберігати весь ряд спостережень  $\mathbf{I}_1, \mathbf{I}_2, \mathbf{I}_3, \dots, \mathbf{I}_k$ . Насправді треба зберігати та обробляти тільки одну групу спостережень на кожному кроці, тоді як решта інформації міститься в оцінці вектора стану та кореляційній матриці, отриманих на попередньому кроці фільтрації. Така процедура є особливо ефективною для динамічних систем, де індекс  $k$  відповідає номеру епохи спостережень в режимі реального часу.

Зауважимо одну суттєву особливість фільтра Калмана. Якщо ми маємо справу з вимірюваннями, що вже відбулися, є можливість запустити фільтр Калмана у зворотному напрямку. Таким чином ми отримуємо дві оцінки шуканих параметрів – фільтрації вперед і фільтрації назад. В такому випадку постає завдання з утворення оптимальної оцінки за двома результатами фільтрації. Оцінювання поточного і майбутнього значень невідомих параметрів динамічної системи, що базується на поточних та минулих даних, має назву фільтрації та прогнозування відповідно та вирішується через фільтр Калмана. Оцінка невідомих параметрів минулого за даними, зібраними за певний проміжок часу, має назву згладжування. Згладжування є додатковою процедурою, часто застосовувану в навігаційній практиці, яка, проте, не знайшла застосування в геодезії. Хоча тут також ідеться про певну аналогію – згладжена оцінка фільтра Калмана відповідає визначенню середньозваженого значення невідомої величини за нерівноточними вимірюваннями.

Алгоритми згладжування зазвичай утворюються трьома можливими способами: з фіксованим інтервалом (fixed-interval), згладжувальний фільтр із постійним запізненням (fixed-lag smoother), згладжувальний фільтр з фіксованою точкою (fixed-point smoother) [2]. У геодезичній практиці найбільш ефективними слід вважати згладжувальні фільтри типу f-i та f-l. У фільтрі f-i початковий та кінцевий час фіксовані ( $t_0$  та  $t_N$ ) й оцінку знаходять на епоху  $t_k$ , де  $t_k \in [t_0, t_N]$ . Цей тип згладжування використовується, коли згладжена оцінка потрібна для всіх точок спостережень. У фільтрі типу f-l згладжену оцінку на епоху  $t_k$  отримують, використовуючи дані, доступні у інтервалі між  $t_k$  і  $t_{k+m}$ , де  $m$  – фіксована кількість епох спостережень (f-l) та  $t_k < t_{k+m} \leq t_N$ . Цей фільтр використовують тоді, коли оцінки потрібні в реальному часі.

Застосовують досить велику кількість різних модифікацій утворення згладженої оцінки. Розглянемо найпростіший варіант згладжування, що базується на утворенні лінійної комбінації з двох окремих оцінок зі згладжуванням на фіксованому інтервалі.

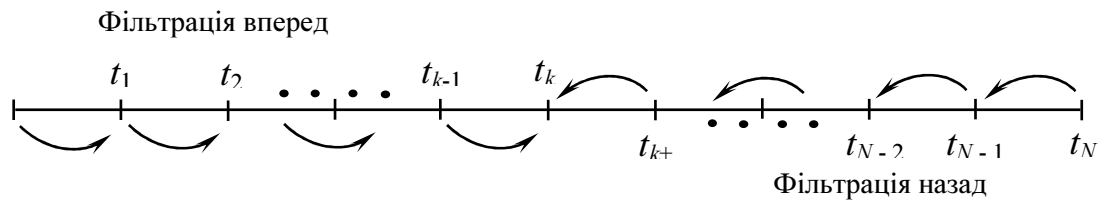


Рис. 1. Процес утворення прямого і зворотного фільтрів та згладженої оцінки

Оптимальне лінійне згладжування є процесом камеральної обробки, у якому використовують всі спостереження для оцінювання невідомих параметрів на певному інтервалі спостережень. Для згладженої оцінки станів на момент часу  $t$  потрібні вимірювання, виконані до і після моменту  $t$ . Алгоритм згладжування базується на використанні зворотної фільтрації за Калманом. Разом обидва фільтри охоплюють всі виміри. Отримані в такий спосіб дві оцінки є некорельованими, оскільки шуми системи та спостережень вважають білими, а спільних даних не використовують.

Різниця між прямою та зворотною фільтрацією полягає в прогнозуванні стану  $\mathbf{X}_k^b$  та кореляційної матриці  $\mathbf{K}_k^b$  на сусідню епоху. Для дискретного зворотного фільтра рівняння прогнозування дають, наприклад, в такому вигляді [2]:

$$\mathbf{X}_{k+1}^b = \Phi_k^{-1} \hat{\mathbf{X}}_k^b, \tag{15}$$

$$\mathbf{K}_{k+1}^b = \Phi_k^{-1} [\mathbf{K}_k^b + \mathbf{H}_k \mathbf{D}_k \mathbf{H}_k^T] (\Phi_k^{-1})^T, \tag{16}$$

де тут і далі верхніми індексами позначено  $f$  - фільтрація вперед,  $b$  - фільтрація назад,  $S$  - згладжена оцінка.

У подальшому процедура обчислення не відрізняється від прямого фільтра Калмана.

Тепер важливо обрати спосіб, в який комбінувати прямий та зворотний розрахунки. В роботі [2] наведено просте й ефективне рішення на основі добре відомої комбінації двох незалежних оцінок:

$$\hat{\mathbf{X}}_k^s = \mathbf{A} \hat{\mathbf{X}}_k^f + \mathbf{B} \hat{\mathbf{X}}_k^b, \tag{17}$$

де  $\mathbf{A}$ ,  $\mathbf{B}$  - вагові матриці.

За таких умов вектор стану та його кореляційна матриця будуть мати такий вигляд:

$$\Delta \hat{\mathbf{X}}_k^s = (\mathbf{A} + \mathbf{B} - \mathbf{I}) \mathbf{X}_k + \mathbf{A} \Delta \hat{\mathbf{X}}_k^f + \mathbf{B} \Delta \hat{\mathbf{X}}_k^b; \tag{18}$$

$$\mathbf{K}_k^s = \mathbf{A} \mathbf{K}_k^f \mathbf{A}^T + \mathbf{B} \mathbf{K}_k^b \mathbf{B}^T.$$

Для утворення незміщеної оцінки перший член у рівнянні (18) повинен задовольняти умові:

$$(\mathbf{A} + \mathbf{B} - \mathbf{I}) = 0,$$

тоді вагові матриці будуть мати такий вигляд:

$$\mathbf{A} = \mathbf{K}_k^b (\mathbf{K}_k^f + \mathbf{K}_k^b)^{-1}; \quad \mathbf{B} = \mathbf{A} - \mathbf{I} = \mathbf{K}_k^f (\mathbf{K}_k^f + \mathbf{K}_k^b)^{-1}, \tag{19}$$

а кореляційна матриця

$$(\mathbf{K}_k^s)^{-1} = (\mathbf{K}_k^f)^{-1} + (\mathbf{K}_k^b)^{-1}. \tag{20}$$

Припустимо, що прямий фільтр зупинено в точці оцінки  $k$ , а кінцевим результатом є апостеріорна оцінка вектора стану  $\hat{\mathbf{X}}_k^f$  та кореляційна матриця  $\mathbf{K}_k^f$ . Зворотний фільтр зупинено в точці  $k+1$ , в якій виконують прогнозування апіорної оцінки вектора стану  $\hat{\mathbf{X}}_k^b$  та кореляційної матриці  $\mathbf{K}_k^b$  в точці  $k$ . Такий прогноз не містить спостереження в точці  $k$ . Таким чином, обидві оцінки є некорельованими оскільки не мають спільних спостережень і можуть бути використані для побудови згладженої оцінки.

Висновки очевидні: згладжена оцінка вектора стану завжди має меншу дисперсію, ніж фільтровані оцінки, а сама оцінка не може бути гіршою (в статистичному сенсі), ніж оцінка прямої фільтрації.

Розглянемо описані моделі фільтрації та згладжування на прикладі оброблення вимірювань вертикальних осідань деформаційної марки в тілі гідротехнічної споруди. Вважатимемо, що деформаційна марка рухається вертикально з певною швидкістю. Визначення відмітки марки виконують щомісяця геометричним нівелюванням за програмою II класу. Виконаємо оброблення ряду визначених осідань, що складається з 32 циклів. Результати вимірювань визначених осідань  $\Delta h$  представлено в табл. 1.

Таблиця 1

**Переміщення марки**

№ пор.	$\Delta h$ , мм	№ пор	$\Delta h$ , мм	№ пор	$\Delta h$ , мм	№ пор	$\Delta h$ , мм
1	-0,6	9	-9,3	17	-17,6	25	-16,7
2	-3,6	10	-10,6	18	-18,4	26	-22,9
3	-3,9	11	-10,8	19	-16,8	27	-24,5
4	-3,9	12	-10,9	20	-19,6	28	-26,4
5	-5,5	13	-12,3	21	-19,9	29	-25,9
6	-5,6	14	-13,4	22	-20,4	30	-27,8
7	-6,9	15	-14,6	23	-23,1	31	-26,5
8	-7,7	16	-15,8	24	-19,1	32	-28,9

Для визначення матриці переходу від нульового до першого циклу спостережень  $\Phi_{1,0}$  потрібна прийняти модель переміщення марки. В цьому випадку запропонуємо таку модель:

$$\Delta h_k = \Delta h_{k-1} + v_{\Delta h} \delta t + a_{\Delta h} \frac{\delta t^2}{2}.$$

Тоді матриця переходу матиме вигляд:

$$\Phi_{1,0} = \begin{pmatrix} 1 & \delta t & \frac{\delta t^2}{2} \\ 0 & 1 & \delta t \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Оскільки спостереження виконують щомісяця, то інтервал дорівнює  $\delta t = 1$ .

В нульовому циклі було визначено початкове переміщення точки, її швидкість переміщення та прискорення, які утворюють вихідний вектор станів:

$$\hat{\mathbf{X}}_{0,0} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}.$$

Вагову матрицю  $\mathbf{P}_{0,0}^x$  для першого кроку фільтрації можна вважати одиничною, а матриця  $\mathbf{A}_1$  для вимірюного переміщення буде такою:

$$\mathbf{A}_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}.$$

Для завершення опису системи потрібно визначити кореляційну матрицю  $\mathbf{K}_1$ . Найпростіше вважати її діагональною з елементами, що відповідають середнім квадратичним похибкам у визначенні переміщення, які можна отримати за результатами вирівнювання в кожному циклі. У розглянутому випадку точність визначення переміщення становить:  $m_{\Delta h} = 0,7$  мм, тоді:

$$\mathbf{K}_1 = \begin{pmatrix} m_{\Delta h}^2 \end{pmatrix}.$$

Похибку у визначенні швидкості можна взяти:  $m_{v_{\Delta h}} = 1,2$  мм/місяць.

Після визначення всіх вихідних даних виконуємо фільтрацію вперед (табл. 2).

Таблиця 2

#### Оцінки складових вектору стану при фільтрації вперед

Крок	$\Delta h$ , мм	$v_{\Delta h}$ , мм/місяць	$a_{\Delta h}$ , мм/місяць <sup>2</sup>	Крок	$\Delta h$ , мм	$v_{\Delta h}$ , мм/місяць	$a_{\Delta h}$ , мм/місяць <sup>2</sup>
1	-0,54	-0,38	-0,146	17	-17,56	-1,74	-0,22
2	-3,40	-3,24	-1,414	18	-18,54	-1,15	0,16
3	-4,23	-1,55	0,007	19	-17,18	1,25	1,19
4	-4,12	0,03	0,725	20	-19,02	-0,96	-0,38
5	-5,27	-0,68	0,068	21	-19,94	-1,12	-0,28
6	-5,64	-0,36	0,186	22	-20,51	-0,76	0,02
7	-6,76	-0,96	-0,179	23	-22,85	-2,21	-0,66
8	-7,72	-1,05	-0,135	24	-19,95	2,15	1,66
9	-9,24	-1,56	-0,308	25	-16,74	4,03	1,76
10	-10,65	-1,59	-0,180	26	-21,40	-3,05	-2,32
11	-11,01	-0,55	0,38	27	-24,65	-4,48	-1,91
12	-10,96	0,20	0,55	28	-26,90	-3,45	-0,55
13	-12,05	-0,69	-0,12	29	-26,54	-0,23	1,19
14	-13,32	-1,28	-0,34	30	-27,58	-0,34	0,59
15	-14,62	-1,48	-0,27	31	-26,65	1,15	1,00
16	-15,86	-1,40	-0,11	32	-28,37	-0,96	-0,43

Виконані розрахунки дуже зручно представити в графічному вигляді (рис.2, 3). До речі, всі обчислення виконані з використанням мови програмування Matlab [11].

Як і за методом найменших квадратів, у разі фільтрації за Калманом можна розрахувати вектор поправок, який позначають через  $\epsilon_k$  у вимірні величини. Для цього використовують вираз

$$\epsilon_k = \mathbf{I}_k - \mathbf{A}_k \hat{\mathbf{X}}_{k,k} .$$

За цим виразом на кожному кроці фільтрації розраховано поправки у вимірні координати (рис. 4 – 6)

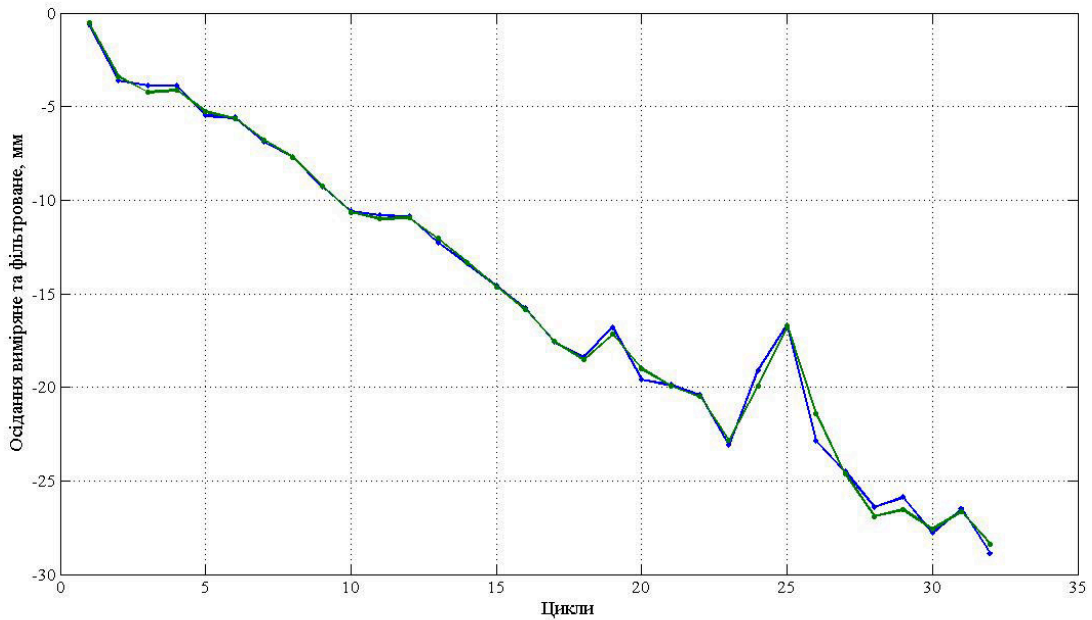


Рис. 2. Вимірне осідання та фільтроване вперед значення осідання

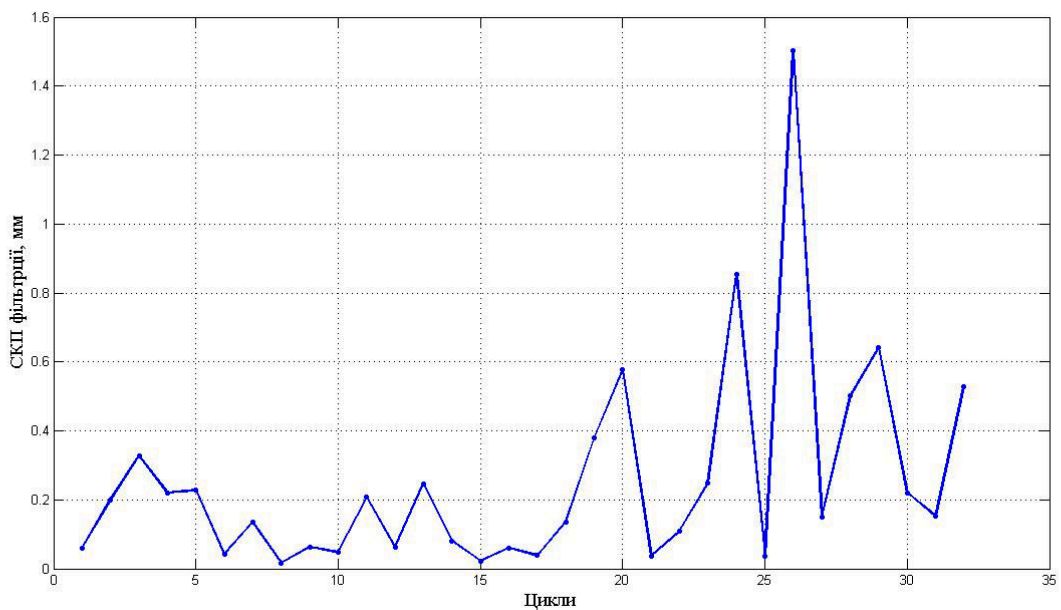


Рис. 3. Середня квадратична похибка фільтрації вперед в кожному циклі

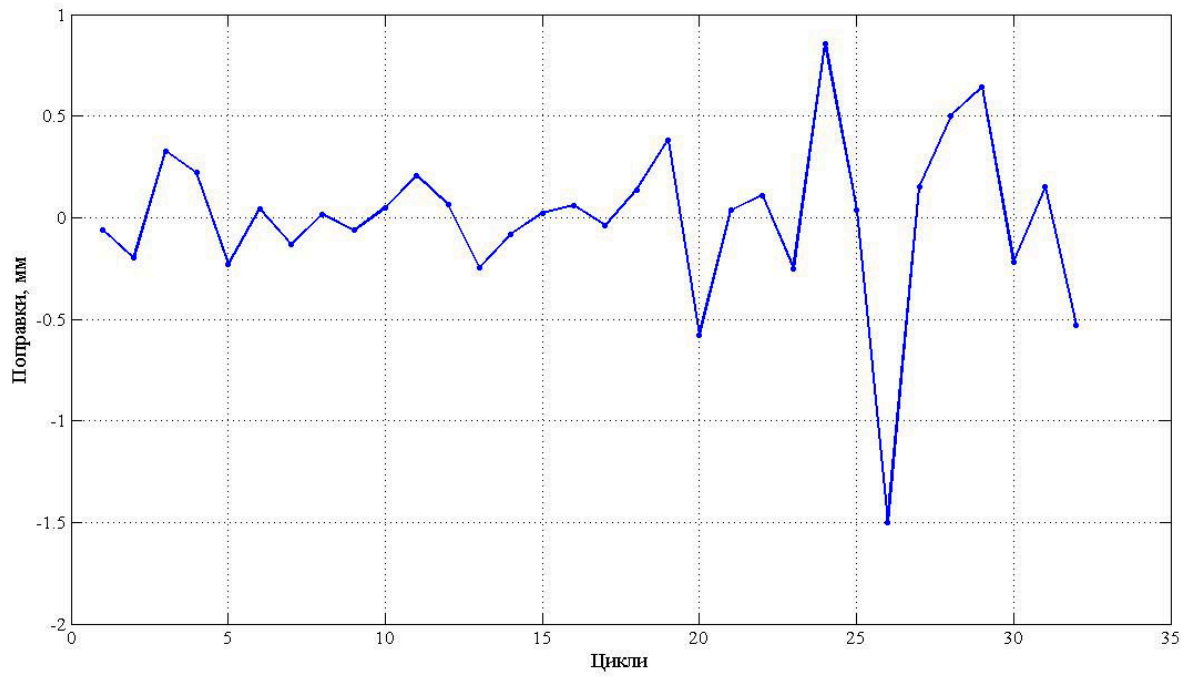


Рис. 4. Поправки до вимірних переміщень, отримані з фільтрації вперед

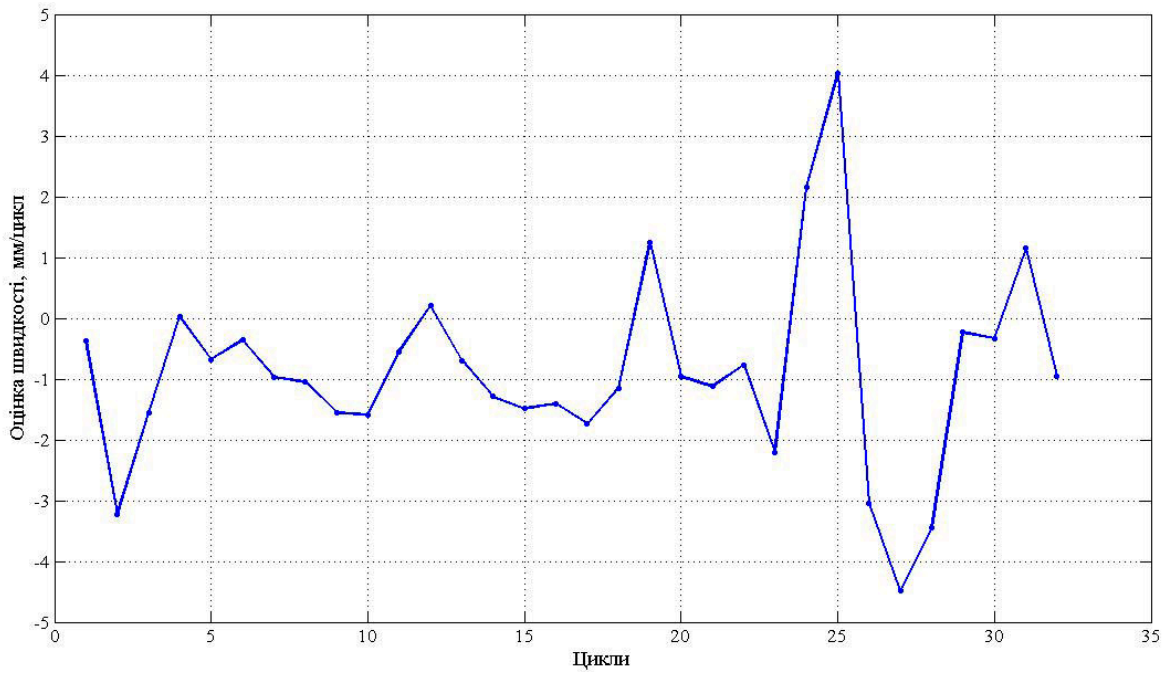


Рис. 5. Оцінка швидкості з фільтрації вперед

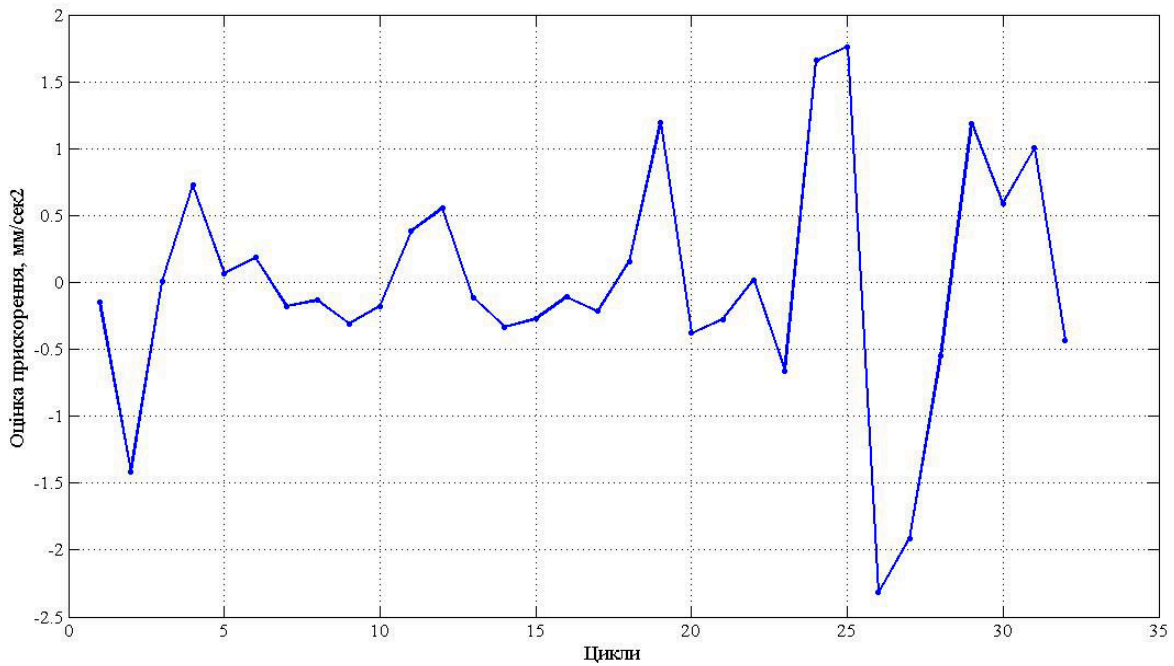


Рис. 6. Оцінка прискорення з фільтрації вперед

З табл. 2 та відповідних рисунків видно, що починаючи приблизно з четвертого-п'ятого кроків фільтрації відбувається стабілізація оцінок швидкості та прискорення.

Тепер, керуючись виразами (15) – (16), виконаємо фільтрацію за Калманом назад, результати фільтрації наведено в табл. 3.

Таблиця 3

**Оцінки складових вектора стану під час фільтрації назад**

Крок	$\Delta h$ , мм	$v_{\Delta h}$ , мм/місяць	$a_{\Delta h}$ , мм/місяць <sup>2</sup>	Крок	$\Delta h$ , мм	$v_{\Delta h}$ , мм/місяць	$a_{\Delta h}$ , мм/місяць <sup>2</sup>
1	-1,01	-2,25	0,86	17	-17,66	0,30	-0,54
2	-3,59	-0,08	-0,26	18	-17,74	-0,05	-0,71
3	-3,79	-0,36	-0,24	19	-16,94	-2,83	1,07
4	-4,08	-0,94	0,05	20	-19,50	-1,31	0,68
5	-5,33	-0,33	-0,43	21	-20,30	-0,93	0,94
6	-5,55	-1,31	0,04	22	-21,51	1,27	-0,15
7	-6,76	-1,42	0,16	23	-22,36	4,63	-3,16
8	-7,84	-1,70	0,54	24	-17,94	-0,89	-1,14
9	-9,53	-0,72	0,15	25	-17,24	-5,72	2,02
10	-10,59	0,16	-0,47	26	-22,95	-1,97	0,55
11	-10,64	-0,34	-0,44	27	-24,74	-1,26	0,41
12	-10,91	-1,27	-0,01	28	-26,26	-0,07	-0,26
13	-12,21	-1,26	-0,04	29	-26,18	-0,82	0,16
14	-13,31	-1,59	0,21	30	-27,47	0,40	-0,74
15	-14,63	-1,65	0,45	31	-26,74	-1,95	0,61
16	-16,13	-1,10	0,35	32	-28,78	0,22	-0,68

Виконані розрахунки знову представимо у графічному вигляді (рис. 7 – 9).

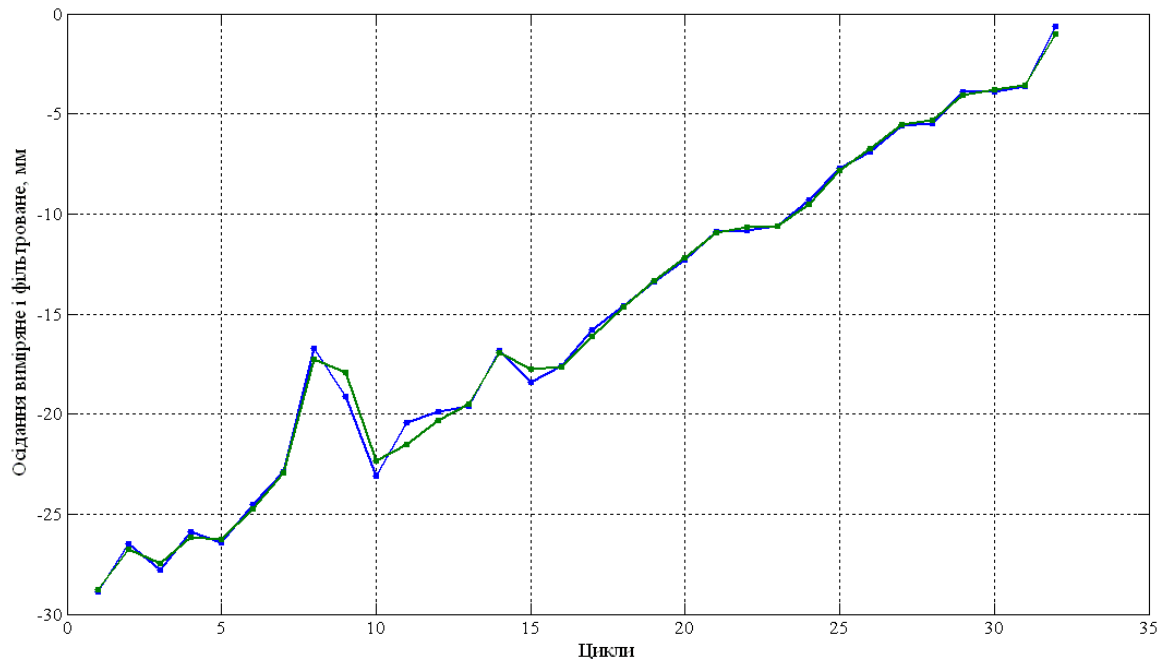


Рис. 7. Виміряне осідання та фільтроване назад значення осідання

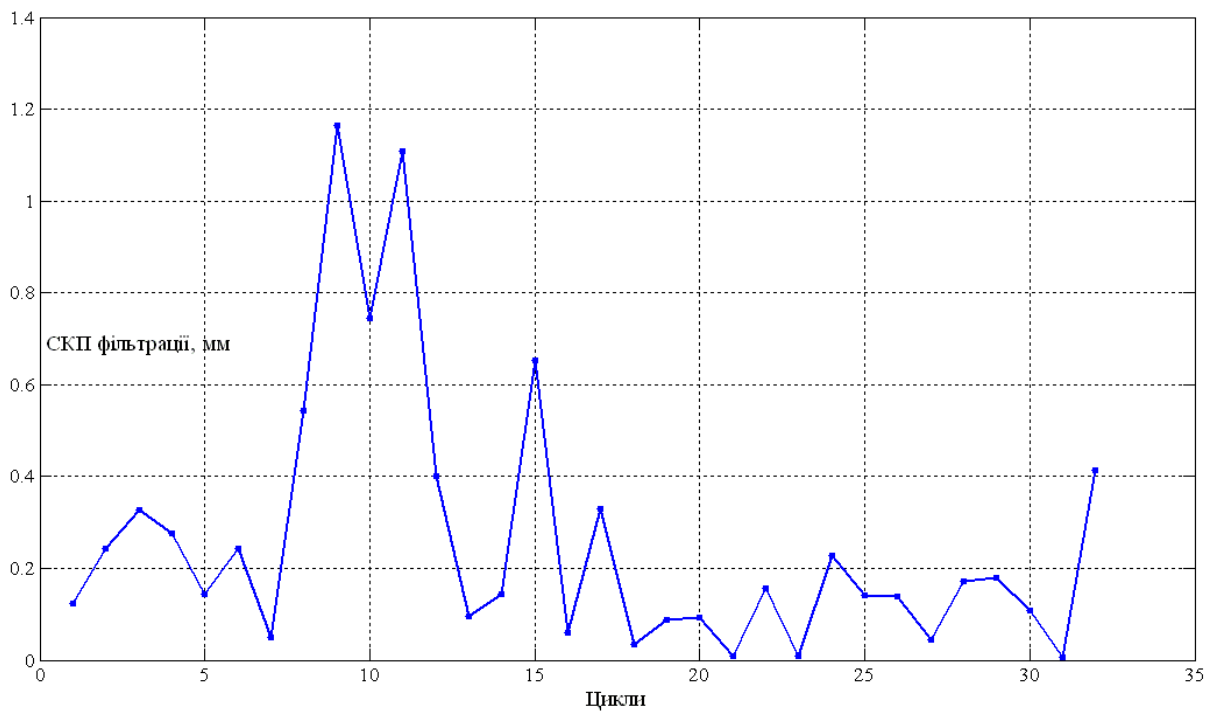


Рис. 8. Середня квадратична похибка фільтрації назад у кожному циклі



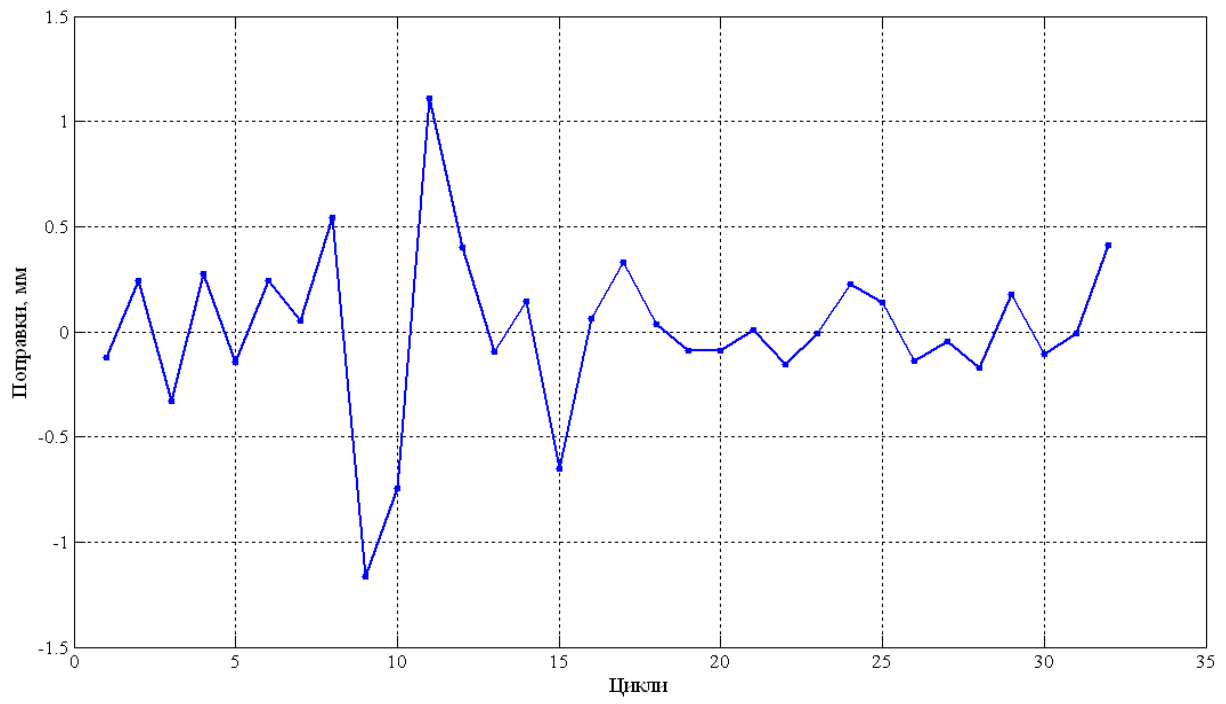


Рис. 9. Поправки до вимірних переміщень, отримані з фільтрації назад

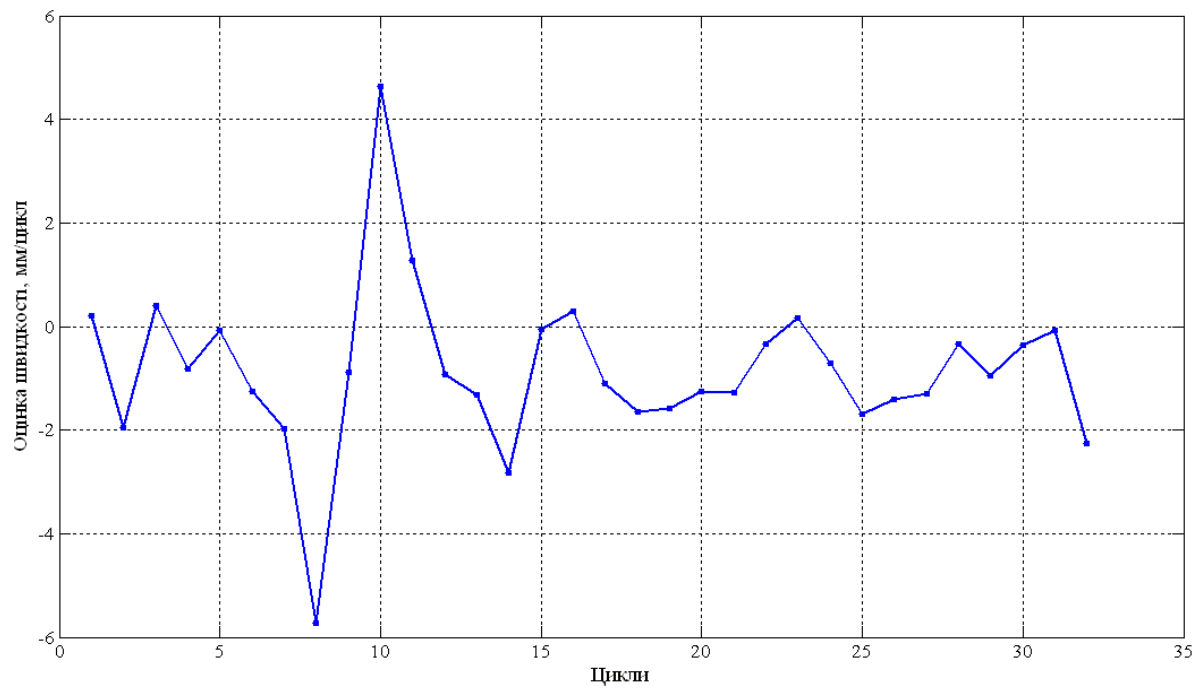


Рис. 10. Оцінка швидкості з фільтрації назад

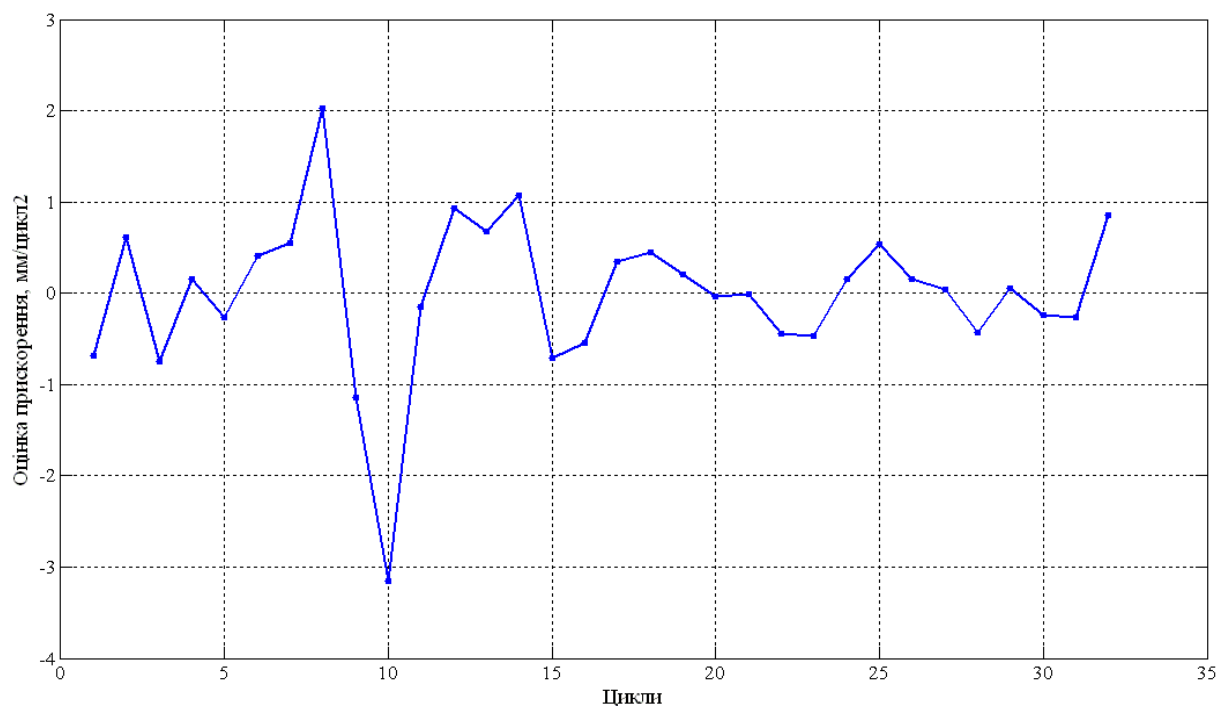


Рис. 11. Оцінка прискорення з фільтрації вперед

Нарешті використаємо вирази (17), (19), (20) та отримаємо згладжені оцінки переміщень, швидкості та прискорень (табл. 4).

Таблиця 4

**Оцінки складових вектору стану при згладжуванні**

Крок	$\Delta h$ , мм	$v_{\Delta h}$ , мм/місяць	$a_{\Delta h}$ , мм/місяць <sup>2</sup>	Крок	$\Delta h$ , мм	$v_{\Delta h}$ , мм/місяць	$a_{\Delta h}$ , мм/місяць <sup>2</sup>
1	-1,13	-1,46	-0,18	17	-16,97	-0,85	0,34
2	-2,65	-1,22	0,15	18	-17,94	-0,60	0,34
3	-3,73	-0,86	0,38	19	-18,35	-0,75	-0,17
4	-4,39	-0,66	0,18	20	-19,29	-0,97	-0,21
5	-5,18	-0,68	0,01	21	-20,00	-0,78	0,14
6	-5,90	-0,85	-0,17	22	-20,22	-0,13	0,49
7	-6,90	-1,08	-0,21	23	-20,59	0,61	0,84
8	-7,96	-1,21	-0,14	24	-20,21	0,44	0,00
9	-9,08	-1,09	0,08	25	-19,88	-0,93	-1,45
10	-10,09	-0,78	0,31	26	-21,59	-2,15	-1,22
11	-10,82	-0,57	0,23	27	-23,70	-2,20	-0,08
12	-11,40	-0,69	-0,12	28	-25,65	-1,46	0,75
13	-12,28	-1,00	-0,30	29	-26,61	-0,72	0,70
14	-13,41	-1,27	-0,25	30	-27,36	-0,36	0,41
15	-14,68	-1,35	-0,09	31	-27,54	-0,41	-0,08
16	-15,86	-1,20	0,11	32	-28,23	-0,68	-0,23

Виконані розрахунки представимо у графічному вигляді (рис. 12 – 14).

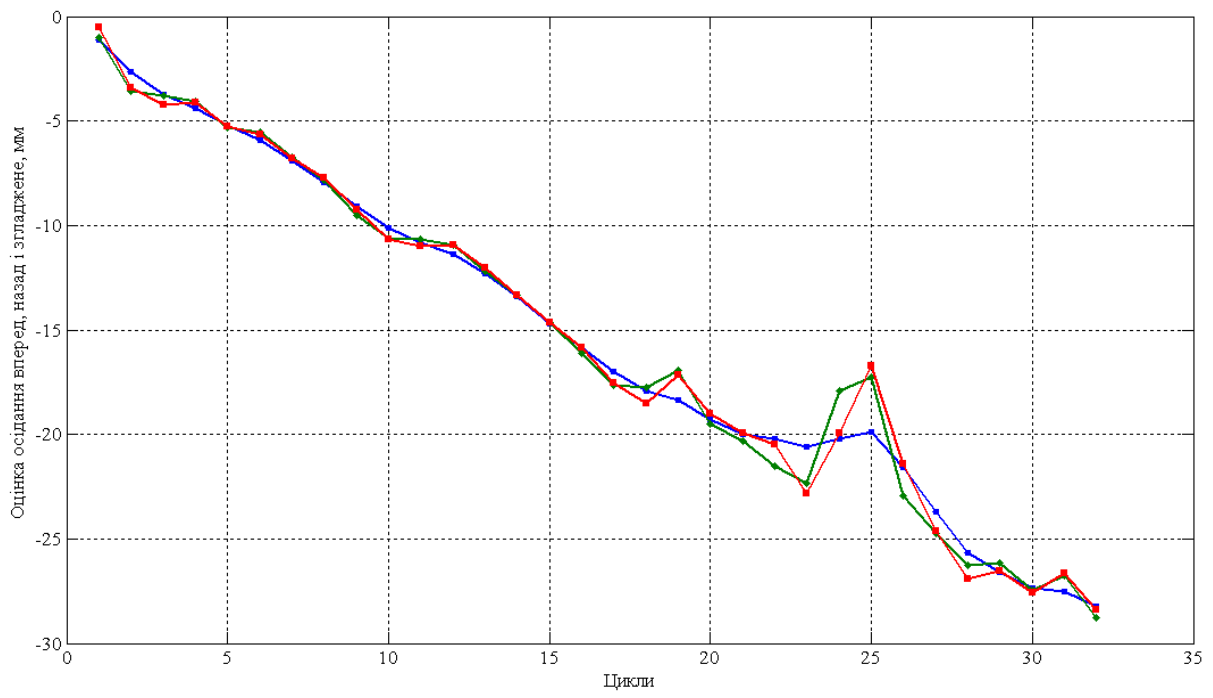


Рис. 12. Оцінка переміщення з фільтрації вперед, назад та згладжена

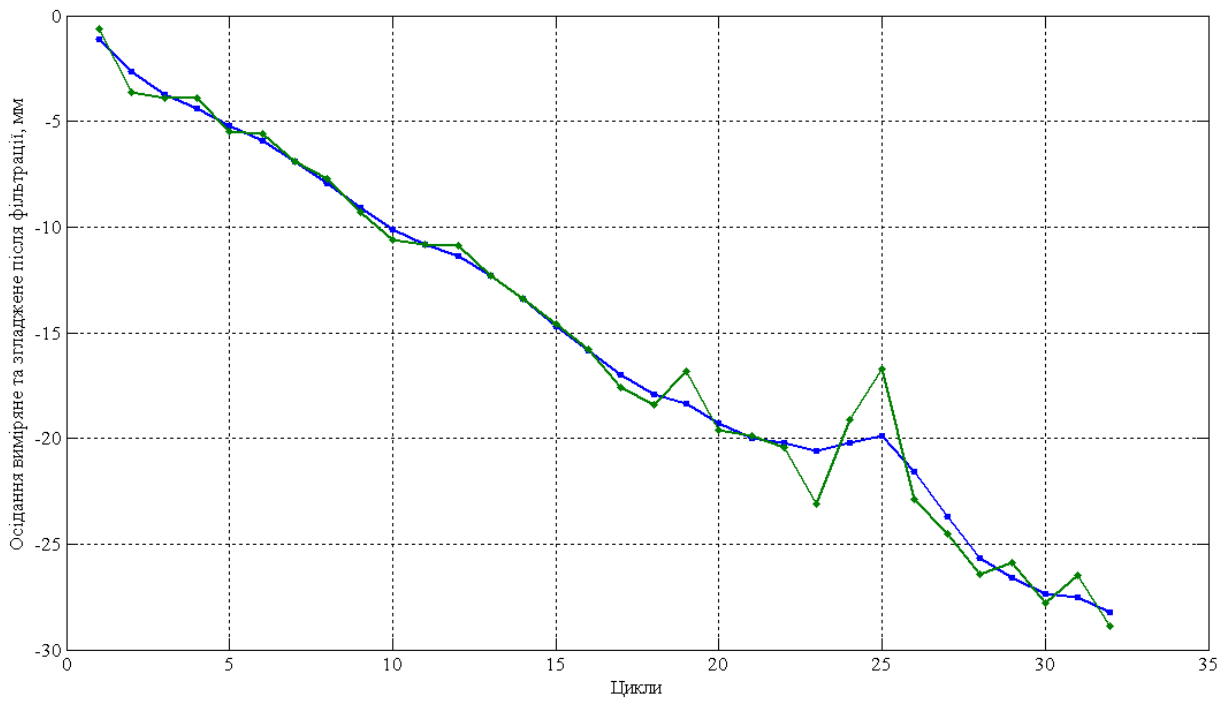


Рис. 13. Виміряне переміщення та згладжена оцінка

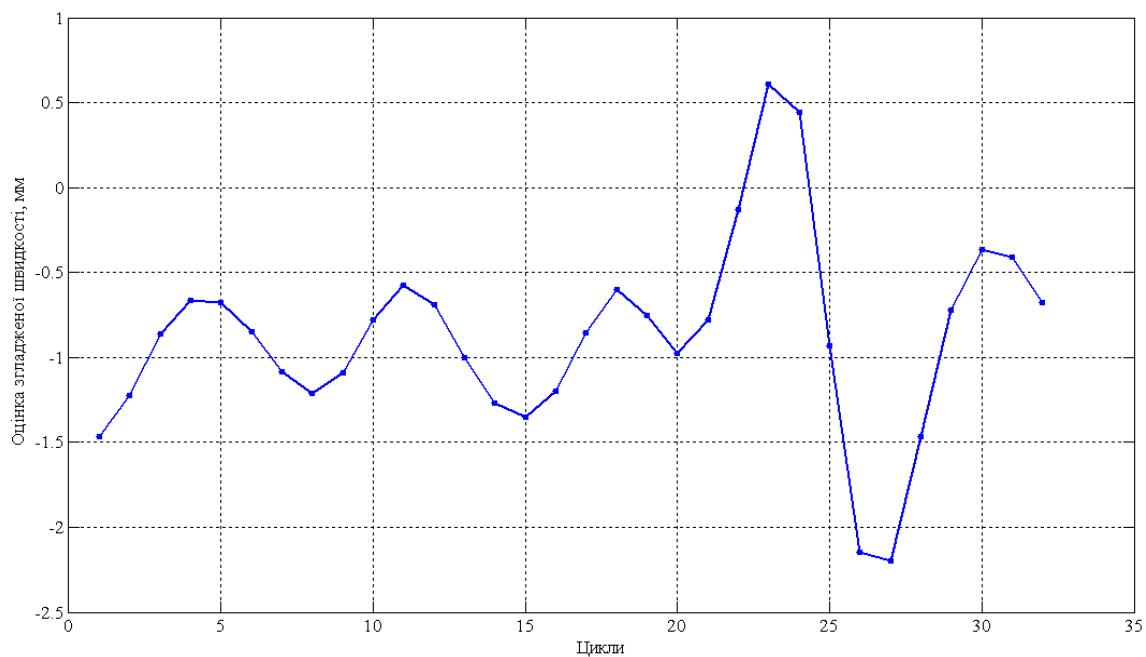


Рис. 14. Згладжена оцінка швидкості

Окрім отриманих згладжених оцінок переміщень та швидкості доцільно побудувати графіки різниць між згладженими оцінками та оцінками з фільтрації вперед і назад. Такі графіки дають змогу оцінити якість згладжування за фільтрацією Калмана. Нижче наведено графіки різниць для оцінок переміщень (рис. 15 – 17).

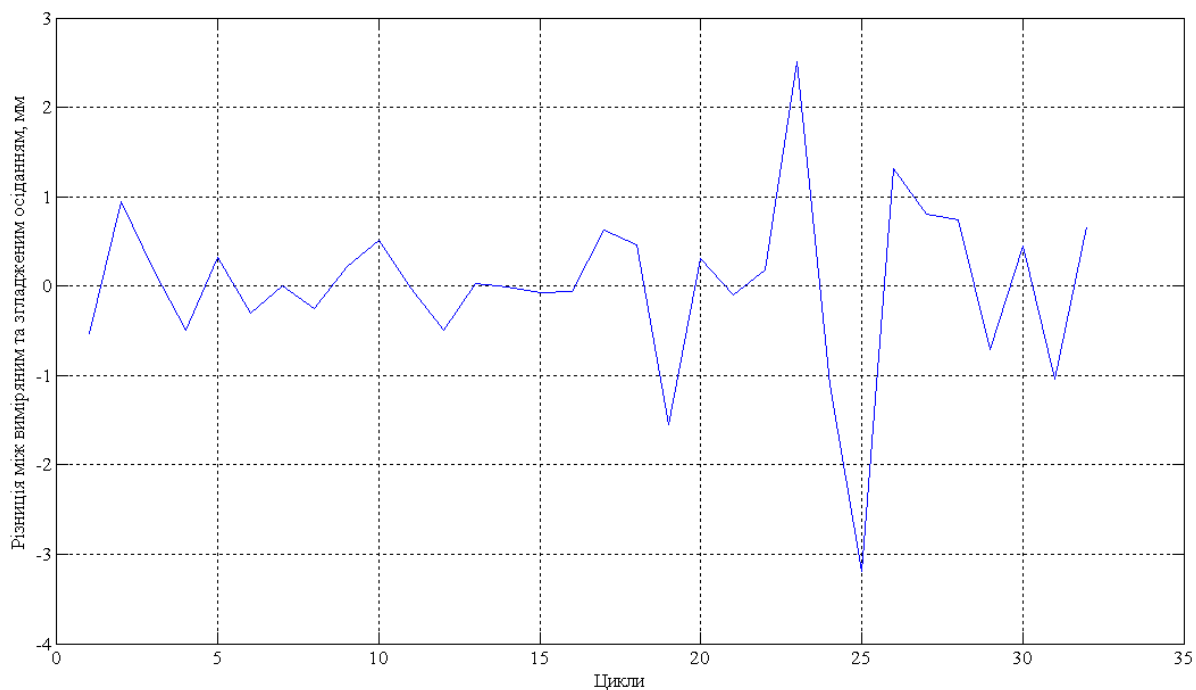


Рис. 15. Різниці між вимірним переміщенням та його оцінкою зі згладжування

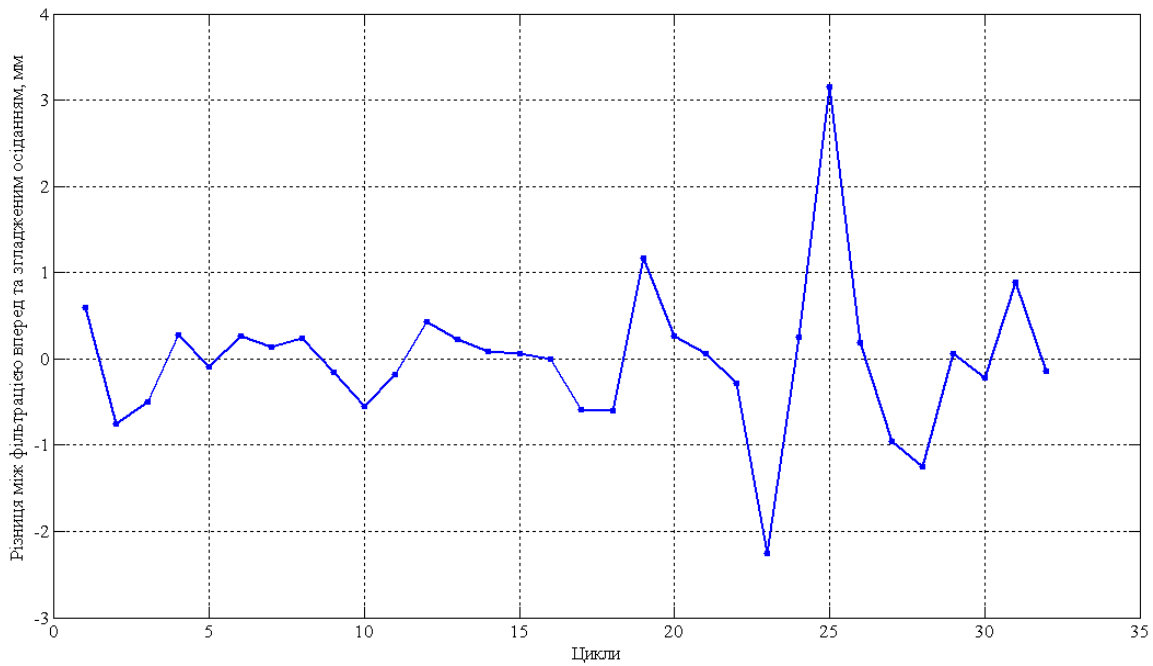


Рис. 16. Різниця між оцінкою переміщення з фільтрації вперед та оцінкою зі згладжування

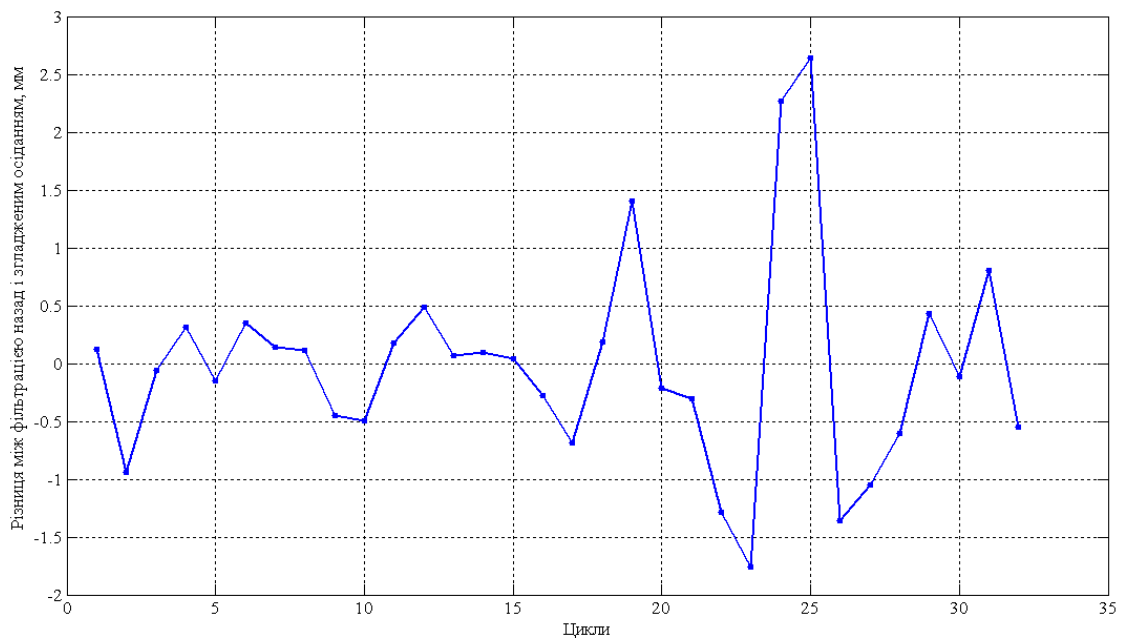


Рис. 17. Різниця між оцінкою переміщення з фільтрації назад та оцінкою зі згладжування

Аналізуючи наведені графіки, можна стверджувати, що отримані в результаті остаточної фільтрації за Калманом зі згладжуванням параметри кінематичної моделі деформаційного процесу за точністю визначення параметрів відповідають точності вимірювання переміщень, а сама модель може бути використана для подальшого прогнозування осідального процесу. Наведений приклад ілюструє, наскільки зручним з обчислювального погляду є фільтр Калмана в обробленні результатів кінематичних спостережень.

**Висновок.** Виконані в роботі дослідження вказують на велику перспективу застосування методів фільтрації за Калманом для оброблення результатів геодезичних вимірювань. Незважаючи на широке застосування фільтрації Калмана в електроніці та системах автоматичного керування, встановлені чіткі аналогії між моделями фільтра Калмана та моделями геодезичних вимірювань. При цьому відкривається широкий напрям до подальших досліджень, пов'язаних з розробленням математичних моделей інших кінематичних процесів, за якими ведуться геодезичні спостереження; вдосконаленням методик формування матриць ваг у фільтрі Калмана; дослідженням стабільності роботи фільтра Калмана на прикладі різноманітних геодезичних задач, розробленні методик контролю грубих помилок та визначення систематичних похибок у фільтрі Калмана; з дослідженням та розробленням добре відомих та нових алгоритмів згладжування даних у фільтрі Калмана.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *El-Sheimy N.* The Development of VISAT – A Mobile Survey System for GIS Applications. A Thesis for the Degree of Doctor of Philosophy / N. El-Sheimy. The University of Calgary. Department of Geomatics Engineering. Calgary, Alberta, September 1996. – P. 198.
2. *Jansson P.* Precise Kinematic GPS Positioning with Kalman Filtering and Smoothing. Theory and Applications. Doctoral Dissertation / P.Jansson. Royal Institute of Technology, Department of Geodesy and Photogrammetry, Stockholm, Sweden, May 1998. –P. 134.
3. *Zhang X.* Integration of GPS with a Medium Accuracy IMU for Metre-Level Positioning: a Thesis for the Degree of Master of Science in Engineering./ X. Zhang. The University of Calgary. Department of Geomatics Engineering. Calgary, Alberta, May 2003. – P. 126.
4. *Stephen J.* Development of Multi-Sensor GNSS Based Vehicle Navigation System. A Thesis for the Degree of Master of Science. / J. Stephen. The University of Calgary. Department of Geomatics Engineering. Calgary, Alberta, August 2000, p. 203.
5. *Adeniyi I.* GPS Time Series Land Slide Monitoring using a Weighted Extended Kalman Filtering with a DIA Procedure / I. Adeniyi. // Shaping the Change XXIII FIG Congress, TS 29 – Land Slide Control and Monitoring Surveys, Munich, Germany, October 8-13, 2006. – PP. 1-11.
6. *Kälber S.* GPS-based online control and alarm system (GOCA). /S. Kälber, R. Jäger// 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements, Session V: Earth Crustal Deformation, Earthquakes, And Regional Movements II, 19 – 22 March 2001, Orange, California, USA, pp. 164-174.
7. *Панкрушин В.К.* Математическое моделирование и идентификация геодинамических систем. / В.К. Панкрушин – Новосибирск: СГГА, 2002. – 424 с.
8. *Гуляев Ю.П.* Прогнозирование деформаций сооружений на основе результатов геодезических наблюдений. [Текст] : монография / Ю.П. Гуляев. – Новосибирск: СГГА, 2008. – 256 с.
9. *Huaan Fan* Theory of Errors and Least Squares Adjustment./ Fan Huaan. Royal Institute of Technology (KTH), Sweden, 2010. – 229 p.
10. *Справочник по прикладной статистике: в 2-х т.* – Т.1: пер. с англ. под. ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю.Н. Тюрина. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 510 с. –

Т.2: пер. с англ./ под. ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю.Н. Тюрина, С.А. Айвазяна. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 526 с.

11. *Simon D. Kalman Filtering / D. Simon // Embedded Systems Programming, University of Pennsylvania, Philadelphia, 2001. P. 72-79.*

Надійшла до редакції

12.02.2013

УДК 528.4

**Р.В. Шульц,  
М.В. Білоус**

## **УТОЧНЕННЯ МЕТОДИКИ ПРИЗНАЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ТОЧНОСТІ ПОБУДОВИ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУДІВНИЦТВА ПІДЗЕМНИХ СПОРУД**

*Виконано аналіз існуючих підходів до призначення необхідної точності створення геодезичної основи для забезпечення збіжки зустрічних забоїв. Розроблено удосконалену методику призначення точності створення геодезичної мережі, яка позбавлена теоретичних та термінологічних неоднозначностей.*

**Ключові слова:** геодезична основа, допуск, допустиме відхилення, габарит, збіжка.

**Постановка проблеми.** Призначення точності створення геодезичної основи під час будівництва підземних споруд є одним з найвідповідальніших етапів геодезично-маркшейдерського забезпечення будівництва. Вихідною величиною, за допомогою якої виконують всі розрахунки, є величина допустимої збіжки зустрічних забоїв. Від часу появи першої фундаментальної роботи з геодезично-маркшейдерського забезпечення будівництва підземних споруд [1] в 1952 р. здійснено декілька спроб сформуванню загальний підхід до призначення точності геодезичних робіт під час підземного будівництва підземних споруд. Відомий на теперішній час підхід, який остаточно сформувався в 70-х рр. ХХ ст., викладено в роботі [2]. Цей приклад без змін наведено у більшості підручників і монографій, у яких висвітлено геодезично-маркшейдерське забезпечення підземного будівництва [3-5]. Всі розрахунки базуються на використанні величини допустимої збіжки. Проте у визначенні збіжки можна зауважити значні термінологічні розбіжності, що призводить до неправильного призначення її величини. Таким чином, постає завдання з правильного визначення величини збіжки, отже, й удосконалення методики подальших розрахунків.

**Постановка завдання.** Метою роботи є виконання аналізу підходів до призначення необхідної точності створення геодезичної основи для забезпечення допустимої збіжки зустрічних забоїв та удосконалення методики призначення точності створення геодезичної мережі.

© Р.В. Шульц, М.В. Білоус, 2014

**Виклад основного матеріалу.** Протягом багатьох років загальний підхід до розрахунку точності геодезичних робіт для забезпечення збіжки двох забоїв залишався незмінним. Перш за все треба чітко уявити, що являє собою величина збіжки та в який спосіб її визначають.

Літературні джерела містять чимало різних визначень збіжки та її величини, зокрема в роботах [2;4] величина збіжки трактується як допуск  $Q = 100$  мм, який вважають за СКП, що, звісно, є некоректним. У роботі [6] вказано, що значення величини збіжки характеризується СКП, дорівнює 50 мм, але незрозуміло, чому автори вирішують подвоїти цю величину, і позначивши як  $\Delta = 2m$ , саме її використати в подальших розрахунках. У роботі [7] зазначено величину збіжки, рівною 200 мм, яка має назву допустимого відхилення.

Суцільна термінологічна плутанина з визначенням збіжки та її величини спостерігається у нормативній літературі [9-11], де її вважають рівною 50 мм, проте наводять такі визначення, як «помилка збіжки», «допустима помилка», «допустиме значення відхилення». У правилах Спілки маркшейдерів Росії [9] читаємо: «При создании основных сетей, обеспечивающих строительство тоннелей, для которых предельная погрешность сбойки определяется допуском  $\pm 50$  мм», одночасно фігурують різні за змістом поняття: «допустима похибка» і «допуск». Виявити природу виникнення цих величин досить складно.

Немає потреби зайвий раз наголошувати, що всі ці визначення мають різний зміст і під ними розуміють різні величини. То що ж насправді являє собою величина збіжки?

Насамперед внесемо ясність у питання термінів та позначень, якими послуговуються в інженерній геодезії. Загально визначеними є такі:  $m$  – СКП;  $\delta = tm$  – допустиме відхилення, де  $t$  – коефіцієнт Лапласа (2; 2,5; 3);  $\Delta = 2\delta$  – допуск.

У геодезичній літературі до величини  $\delta$  застосовують також такі визначення: «допустима похибка», «допустима величина», проте в будь-якому випадку ототожнювати її з допуском не можна.

Під час будівництва тунелів метрополітену зустрічними забоями, найчастіше – від монтажної до демонтажної камер (а це 1 – 2 км), співвідношення між наведеними величинами графічно можна подати так (рис. 1):

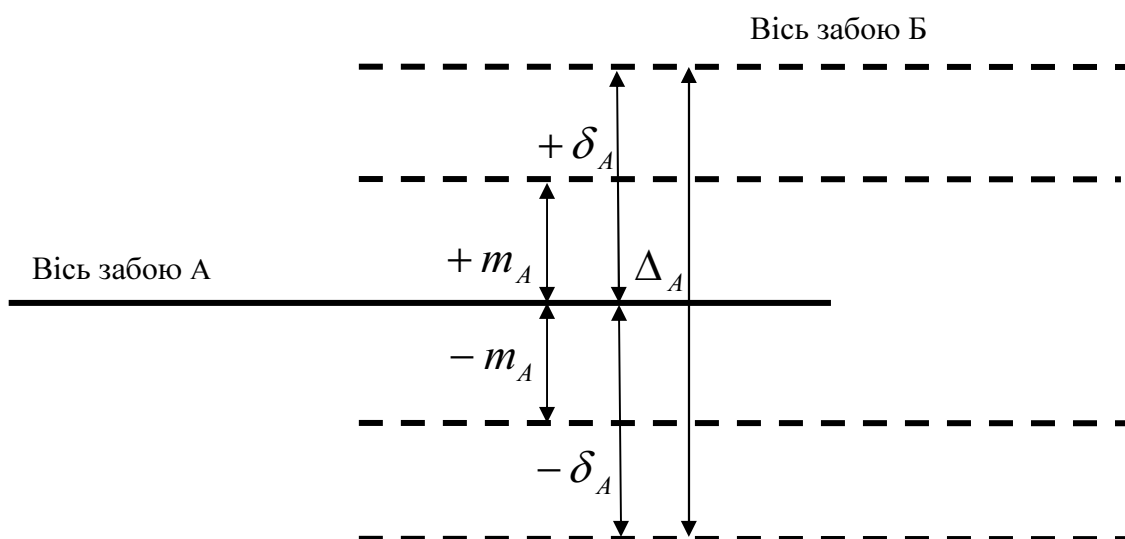


Рис. 1. Основні співвідношення між СКП, допустимим відхиленням та допуском для двох зустрічних забоїв



Наведемо чітке визначення збійки, що відповідає технології будівництва підземних споруд та відображає місце геодезичних робіт в цій технології. На нашу думку, найбільш правильним є таке визначення: збійка – вектор  $Q$  у просторі між положеннями осей двох зустрічних забоїв. Згідно з цим визначенням величину збійки можна подати як на рис. 2. Величину збійки найчастіше подають у вигляді її проєкцій на осі системи координат:  $Q_x$ ,  $Q_y$ ,  $Q_z$ , або в проєкціях на проєктну вісь тунелю:  $Q_t$  – повздовжня збійка,  $Q_u$  – поперечна збійка,  $Q_h$  – збійка по висоті.

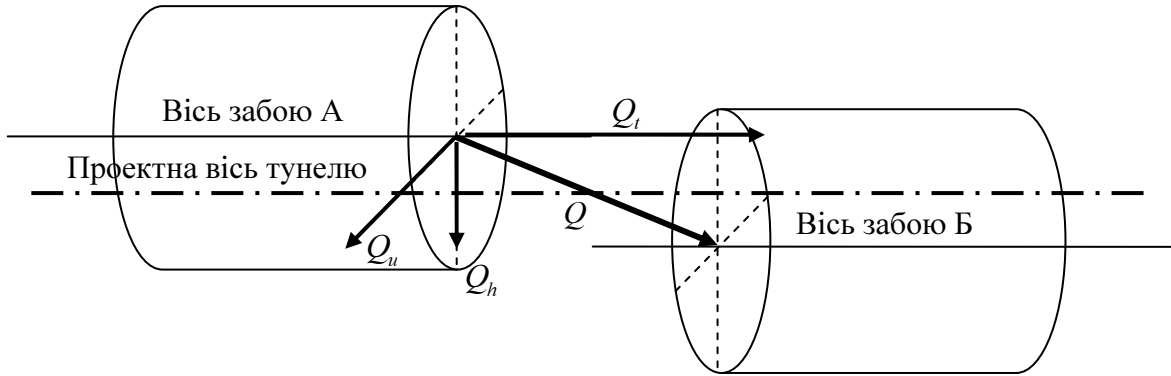


Рис. 2. Збійка як величина розходження осей зустрічних забоїв

З рис. 1 і 2 випливає чітке співвідношення:  $Q = \Delta$ .

Безумовно, під час будівництва тунелів закритим способом, найвідповідальнішим завданням є забезпечення збійки в межах допуску з обов'язковим дотриманням габариту наближення споруди. Пояснимо ідею встановлення цього габариту на прикладі габариту наближення споруд тунелів метрополітену з круговою оправою (рис. 3) [11].

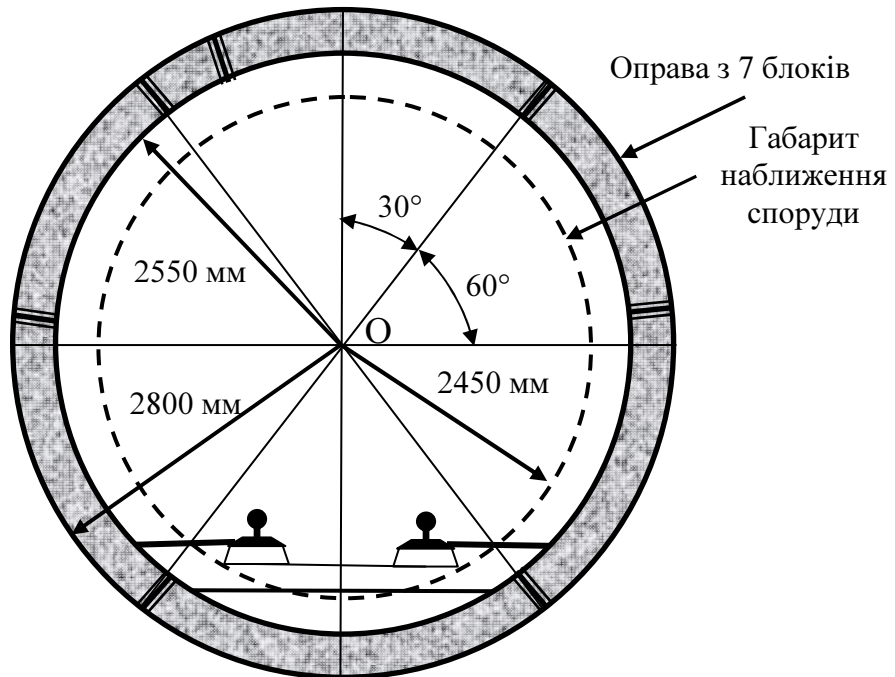


Рис. 3. Співвідношення між внутрішнім радіусом оправи тунелю та радіусом габариту споруди

Згідно з цим рисунком величина запасу габариту становить 100 мм. Цілком логічно використати саме цю величину для подальших розрахунків. Для порівняння наведемо схему утворення габариту споруди для тунелів прямокутного перерізу з суцільно-секційною оправою (ССО) (рис. 4). Згідно з рис. 4 величина запасу габариту дорівнює 25 мм. Зрозуміло, що дотримання такого габариту є надзвичайно складним завданням. Проте слід пам'ятати, що оправу прямокутного перерізу застосовують під час будівництва відкритим способом тунелів мілкового закладання, що спрощує технологію геодезичних робіт за дотримання такого габариту. Отже, розрахунок доцільно виконати насамперед для тунелів глибокого закладання з круговою оправою, які будують закритим способом.

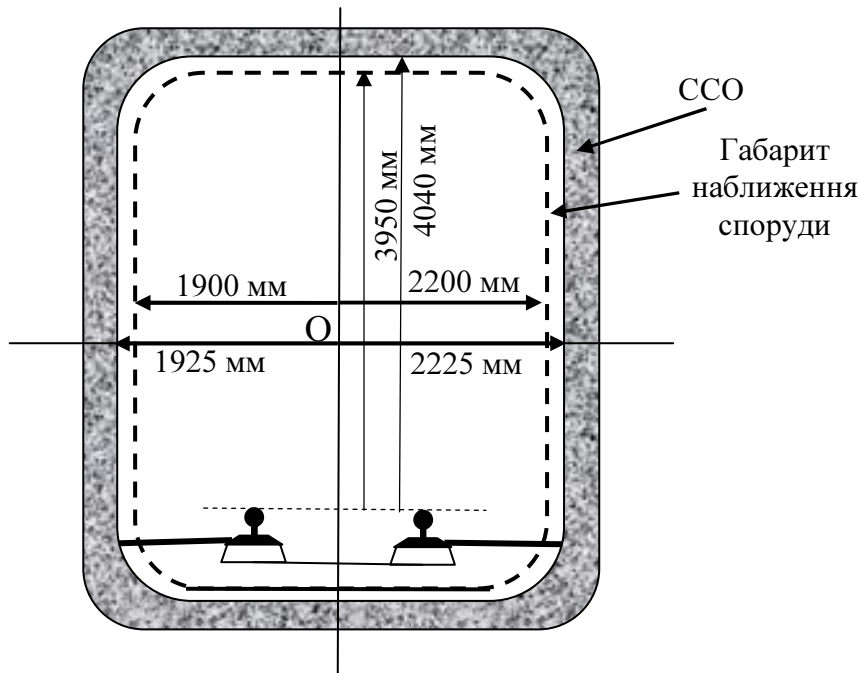


Рис. 4. Співвідношення між розміром ССО та габаритом наближення споруди

Важливо з'ясувати, що саме являє собою величина габариту.

Вважають, що загальна величина збійки забоїв по оправі складається з такого [2-4]:

- 1) похибок планової геодезичної основи  $\delta_1$ ;
- 2) похибок висотної геодезичної основи  $\delta_2$ ;
- 3) похибок монтажу оправы відносно розмічувальної осі  $\delta_3$ ;
- 4) похибок виготовлення оправы (порушення геометрії оправы)  $\delta_4$ ;
- 5) деформації оправы під впливом гірничого тиску  $\delta_5$ .

Звернімо увагу, що в цьому випадку йдеться про збійку забоїв по оправі, тобто таке визначення суперечить прийнятому раніше визначенню збійки як розходженню осей зустрічних забоїв. Отже, щоб перейти до вже визначеної величини збійки, слід вважати, що для похибок  $\delta_3, \delta_4, \delta_5$  їх величину встановлюють за проектними розрахунками до 50 мм, тому можна вважати, що на величину збійки впливають тільки похибки геодезичних робіт.

У всіх дотепер відомих методиках розрахунку величини  $\delta_1, \delta_2$  беруть як СКП, в такому випадку інші величини також відносять до СКП, тоді загальний вплив всіх похибок на величину збійки становитиме:

$$m_Q = \sqrt{m_1^2 + \frac{m_1^2}{4} + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2} = 100 \text{ мм},$$

але в такому випадку допуск  $\Delta$  на збійку  $Q$  дорівнюватиме 400 мм. Отже, йдеться про допустимі відхилення  $\delta_i$ . До речі, саме таке визначення вжито для величини  $\delta_3$  в нормативній літературі [12], тобто

$$\delta Q = \sqrt{\delta_1^2 + \frac{\delta_1^2}{4} + \delta_3^2 + \delta_4^2 + \delta_5^2} = 100 \text{ мм}.$$

Отже, допуск на величину збійки  $\Delta_Q = 2\delta = 200$  мм. Допустиме відхилення збійки  $\delta_Q = 100$  мм, а СКП збійки  $m_Q = 50$  мм.

До геодезичних складових, що впливають на величину збійки, належать величини  $\delta_1$  і  $\delta_2$ , для яких взято значення:

$$\delta_{\text{геод}} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} = 50 \text{ мм}.$$

Оскільки на забезпечення збійки у плані припадає значно більше робіт і вимог, то рекомендується встановлювати вагові коефіцієнти, за якими:

$$\delta_{\text{геод}} = \sqrt{\delta_1^2 + 0,25 \delta_1^2} \Rightarrow \delta_1 = 45 \text{ мм}, \delta_2 = 22,5 \text{ мм}.$$

Таким чином, для забезпечення збійки в плані потрібно встановити таку точність геодезичних робіт, щоб загальна величина допустимого відхилення не перевищувала  $\delta_1 = \delta_{\text{пл}} = 45$  мм, а СКП  $m_{\text{пл}} = \frac{\delta_{\text{пл}}}{2} = 22,5$  мм. СКП  $m_{\text{пл}}$  утворюється внаслідок впливу таких складових:

- 1) похибка геодезичної основи на денній поверхні  $m_1$ ;
- 2) похибка орієнтування в забої А  $m_2$ ;
- 3) похибка орієнтування в забої Б  $m_3$ ;
- 4) похибка в кінці ходу підземної полігонометрії в забої А до місця збійки  $m_4$ ;
- 5) похибка в кінці ходу підземної полігонометрії в забої Б до місця збійки  $m_5$ .

З незрозумілих причин у роботах [2-4] замість СКП  $m_1 \dots m_5$  взято допустимі відхилення  $\delta_1 \dots \delta_5$ , що не пояснюється ніяким чином. Загальна СКП в такому випадку становить:

$$m_{\text{пл}} = \sqrt{m_1^2 + m_2^2 + m_3^2 + m_4^2 + m_5^2},$$

тоді згідно з принципом однакового впливу матимемо:

$$m_1 = m_2 = m_3 = m_4 = m_5 \Rightarrow m_{\text{пл}} = m_i \sqrt{5} \Rightarrow m_i = \frac{m_{\text{пл}}}{\sqrt{5}}$$

звідки на кожне джерело припадає  $m_i = 0,45 m_{\text{пл}} = 10$  мм.

Досягти такої точності є надто складним завданням, а іноді практично неможливим.

У роботі [6] читаємо: «При будівництві тунелів допускається розходження осей в межах  $\pm 100$  мм. Цю величину приймаємо за граничну  $2\Delta = 100$  мм », в іншому місці: «При підході до збійки ці похибки враховуються і тому допуск на розходження осей при збійці, що дорівнює  $2\Delta = 100$  мм, може бути цілком прийнятий для розрахунку точності вимірювань в мережах геодезично-маркшейдерської розмічувальної основи». У цій цитаті під похибками, які враховують, розуміють похибки ведення щита, виготовлення елементів оправи, еліптичність оправи, деформація оправи.

Справді, похибки деформації оправи вказують у проекті організації будівництва. Під час будівництва вимірюють положення щита, еліптичність кілець та деформації оправи відносно тих самих пунктів підземної геодезичної основи. В результаті виникає можливість врахувати вплив цих похибок під час побудови геодезичної основи. Таким чином, відповідно до всіх попередніх міркувань порядок розрахунку потрібної точності геодезичних робіт матиме такий вигляд.

За аналогією з викладеним на похибку збійки впливають величини:

$\delta_3$  до 50 мм – похибка монтажу оправи відносно розмічувальної осі за використання автоматизованих щитових комплексів може бути зведена до мінімуму;

$\delta_4$  до 50 мм – враховують під час виготовлення оправи та її монтажу;

$\delta_5$  до 50 мм – розраховують проектні організації і визначають за результатами вимірювань;

$\delta_1 = ?$  – результат похибок вимірювань;

$\delta_2 = ?$  – результат похибок вимірювань.

За заданого допуску на збійку  $\Delta_Q = 200$  мм отримаємо допустиме відхилення збійки  $\delta_Q = 100$  мм, зважаючи на попередні міркування, маємо:

$$\delta_Q = \delta_{\text{геод}} = \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2} = 100 \text{ мм},$$

або як прийнято раніше:

$$\delta_{\text{геод}} = \sqrt{\delta_1^2 + 0,25 \delta_1^2} = 100 \text{ мм},$$

звідки  $\delta_1 = 93,5$  мм  $\delta_2 = 35,5$  мм.

Виконуючи перехід до СКП, матимемо:

$$m_{\text{пл}} = m_1 = 46,8 \text{ мм}; m_2 = 17,8 \text{ мм} = m_B.$$

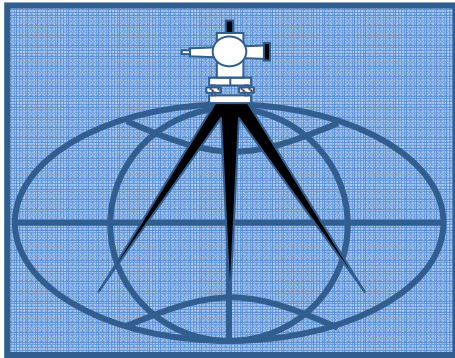
Отримані значення відрізняються від наведених у літературі [2 – 5] на незначну величину ( $m_{\text{пл}} = m_1 = 46,8$  мм = 45 мм;  $m_2 = 17,8$  мм  $m_B = 22,5$  мм). Проте основним є формування правильного підходу до методики виконання розрахунку.

**Висновки.** Отже, на підставі аналізу класичних робіт [2 – 5] виявлено, що через плутанину в термінах, а в деяких випадках через нерозуміння природи виникнення тих чи інших похибок допущено неточності у призначенні величин СКП геодезичних робіт, а головне – значний методичний прорахунок, в результаті якого досить важко встановити послідовність виконання розрахунків точності геодезичних робіт. Наведені

в роботі термінологія та порядок розрахунку позбавлені теоретичних і термінологічних неоднозначностей і не суперечать сучасному стану технологій будівництва підземних споруд. Запропонований у роботі підхід рекомендується використовувати для виконання попередніх розрахунків точності геодезичних робіт під час будівництва різних класів підземних споруд.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Геодезия в тоннелестроении.* /А.Н. Баранов, К.И. Егупов, Е.И. Зельцер и др. Ч. I и II. – М.: Геодезиздат, 1952, 503 с., 1953, 492 с.
2. *Лебедев Н.Н.* Практикум по курсу прикладной геодезии. / Г.П. Левчук, В.Е. Новак, Н.Н.Лебедев; под. ред. Н.Н. Лебедева. – М.: Недра, 1977 – 400 с.
3. *Дейнека Ю.П.* Геодезичні роботи в тунелебудуванні. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту "Львівська політехніка", 1999. – 220 с.
4. *Левчук Г.П.* Прикладная геодезия. Геодезические работы при изысканиях и строительстве инженерных сооружений / Г.П. Левчук, В.Е. Новак, Н.Н. Лебедев; под. ред. Г.П. Левчука. – М.: Недра, 1983. – 400 с.
5. *Шевурдин П.Г.* Геодезия при подземном строительстве. – К.: Изд-во Будивэльныйк, 1976. – 96 с.
6. *Черемисин М. С.* Геодезическо-маркшейдерская разбивочная основа при строительстве подземных сооружений / М.С. Черемисин, А.В. Воробьев. – М.: Недра, 1982. – 262 с.
7. *Поликашечкин А.И.* Геодезическо-маркшейдерское обеспечение строительства подземных сооружений в городах. – М.: Недра, 1990. – 288 с.
8. *Метрополитены* СНиП 32-02-2003. Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу Госстрой России Москва 2004.
9. *Методические указания по проведению работ на земной поверхности (создание планово-высотных опорных геодезических сетей, съемочных сетей, разбивочные работы) по проведению подземных работ (создание подземных планово-высотных опорных сетей, съемочных сетей и пр., разбивочные работы)* – М.: «СОЮЗ МАРКШЕЙДЕРОВ РОССИИ», 2012. – 66 с.
10. *ВСН160-69* Инструкция по геодезическим и маркшейдерским работам при строительстве транспортных тоннелей Минтрансстрой. Дата введения 1970-04-01.
11. *Метрополитены.* Габариты приближения строений, оборудования и подвижного состава ГОСТ 23961-80.
12. *ДБН В.2.3-7-2010* Споруди транспорту. Метрополітени. Держбуд України. – К., 2010.



## КАДАСТР І МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

УДК 002.622.279

С.П. Войтенко,  
А.С. Мазницький,  
В.П. Заболотний

### КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ БАЗИ НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНИХ ДОКУМЕНТІВ ЩОДО СФЕРИ ВИДОБУТКУ КОРИСНИХ КОПАЛИН

*Виконано аналіз сучасного стану справ з використанням нормативно-технічних документів щодо маркшейдерських і геодезичних робіт під час розробки родовищ корисних копалин. Надано рекомендації стосовно концепції створення бази нормативно-технічних документів у згаданій сфері.*

**Ключові слова:** корисні копалини, нормативна база.

Більшість чинних нормативно-технічних документів (НТД), розроблених за часів Радянського Союзу й у пострадянський період, застаріли і підлягають перегляду та доповненню або заміні на нові. Зокрема, НТД з питань гірничо-видобувної промисловості (проектування, будівництво, експлуатація, ремонт, реновація, ліквідація), які тепер (не завжди легітимно) використовують, належать до нормативно-технічної бази Союзу, мають чітко визначену структуру й ідеологію, що не сумісно з новими принципами державної економічної й технічної політики та вектором до європейської інтеграції. В умовах нарощування темпів науково-технічного прогресу, інтенсивного впровадження у виробництво сучасних технологій та матеріалів, прагнення досягти світового рівня якості товарів та послуг потребує наближення НТД України до нормативних актів провідних країн світу (СІЛА, Німеччина, Японія). Зважаючи на перманентні законодавчі зміни стосовно економічного базису держави та змін форм власності, більшість НТД слід замінити новими, відповідними сучасним вимогам. При цьому деякі НТД можуть бути об'єднані в міжвідомчі або міжгалузеві.

Важливо зауважити, що через нагальну потребу у розробці нових і перегляді чинних НТД виникли умови для некваліфікованого й безвідповідального підходу до цього процесу деяких розробників, які не мають ні належних ліцензій, ні досвіду, ні нормативно-методичної бази. Але найбільше занепокоєння викликає і навіть часом

становить небезпеку той чинник, що розробка НТД ведеться безсистемно, без дотримання єдиної концепції їх побудови і згаданих сучасних вимог.

За часів Союзу нормативно-технічні документи для потреб гірничо-видобувної промисловості з ініціативи відповідних міністерств (відомств) переглядалися (розроблялись) спеціалізованими інститутами і перевидавалися кожні п'ять років. Остання «Інструкція по производству маркшейдерских работ» (далі – Інструкція) була розроблена Всесоюзним науково-дослідним інститутом гірничої геомеханіки і маркшейдерської справи (ВНИМИ) під орудою Міністерства вугільної промисловості. Інструкція, затверджена Держгіртехнаглядом СРСР, була обов'язковою для всіх міністерств, відомств, підприємств, організацій й установ, що здійснюють проектування і будівництво підприємств з видобутку твердих корисних копалин і нафти шахтним способом, розробку і дорозвідку згаданих корисних копалин, а також проектування, будівництво й експлуатацію підземних споруд, що не пов'язані з видобуванням корисних копалин або які використовують надра в інших цілях. Згадана вище Інструкція була видана видавництвом "Надра" (Москва) у 1987 році.

Для потреб нафтової і газової промисловості остання «Інструкція по маркшейдерским и топографо-геодезическим работам в нефтяной и газовой промышленности» була розроблена інститутом УкрдіпроНДІнафта під орудою Міннафтопрому СРСР, погоджена Міністерством геології, «Газпромом», Держгіртехнаглядом, ВШМІ, ШШГ (Новосибірськ) і затверджена Головним управлінням геодезії і картографії при Раді Міністрів СРСР та Міннафтопромом СРСР. Видано цей документ у 1992 році. Інструкція призначена для підприємств й установ Міннафтопрому, а також інших відомств, які виконують роботи на родовищах Міннафтопрому СРСР.

Згадані інструкції у нашій країні використовують підприємства й організації усіх форм власності, які займаються проектуванням і будівництвом підприємств з видобування твердих корисних копалин з відкритих та підземних розробок, а також нафти і газу та їх експлуатацією. За часів незалежності України ці інструкції небули переглянуті і де-факто їх використання не є легітимним. Крім того, з часу останнього видання цих НТД минуло понад 20 років. За цей період сталися, без перебільшення, революційні перетворення як в техніці і технологіях гірничої справи, так і в приладах і технологіях маркшейдерсько-геодезичних робіт. Виникли цифрові технології, високопродуктивні прецизійні електронні тахеометри, сканери, лазерні нівеліри, GPS- і ГІС-технології, тривимірне зображення географічних об'єктів та гірничих виробок на великомасштабних планах проммайданчиків, комунікацій і окремих промислових об'єктів тощо. Використання високопродуктивних персональних комп'ютерів й програмного забезпечення до них дає можливість повністю автоматизувати процес обробки результатів геодезичних і маркшейдерських робіт.

Що ж зроблено і робиться в Україні для легітимізації названих інструкцій? Постановою Кабінету Міністрів України від 03.01.2002 № 2 «Про порядок та терміни дії галузевих стандартів і прирівняних до них інших нормативних документів колишнього СРСР» була пролонгована чинність НТД, розроблених за часів Союзу, і одночасно міністерствам, відомствам та іншим органам державного управління запропоновано у визначені терміни переглянути або розробити нові НТД. Для цього потрібно було скласти перелік ГОСТів, ОСТів, ТУ інших НТД з визначенням конкретних строків їх перегляду (розробки). Робота з реалізації згаданої постанови КМУ розпочалась і певна кількість нормативних документів була розроблена й видана,

але через брак фінансування до кінця ця важлива робота не була доведена. Термін чинності інструкцій щодо маркшейдерсько-геодезичних робіт під час розробки твердих корисних копалин відкритим і шахтним способом, а також нафти та газу продовжено до 2007 року. За цей час передбачалось розробити нові інструкції, які б відповідали сучасним технологіям гірничо-видобувної промисловості й світовому рівню розвитку технологій маркшейдерсько-геодезичних робіт. Але у 2005 році постанова КМУ від 03.01.2002 № 2 втратила чинність на підставі постанови КМУ від 20.08.2005 р. № 788, процес перегляду НТД призупинено, згадані інструкції не розроблені. Де-факто їх досі використовують, хоча де-юре вони не є легітимними.

У Міністерстві палива, енергетики та вугільної промисловості України на теперішній час немає посадової особи, яка б опікувалась цим важливим напрямом. За часів Союзу цією особою був головний маркшейдер Мінвуглепрому СРСР, а в Міністерстві нафтової промисловості – маркшейдерський відділ. Головними завданнями маркшейдерських служб у системі згаданих міністерств були: своєчасне й якісне виконання маркшейдерських і топографо-геодезичних робіт під час пошуків, розробки родовищ, проектування шахт і кар'єрів (облаштуванні нафтових і газових родовищ), забезпечення найбільш повного і комплексного їх використання, ефективного й безпечного ведення гірничих робіт та охорони надр; удосконалення організації маркшейдерських і топографо-геодезичних робіт на основі впровадження новітніх досягнень науки, техніки і передового світового досвіду; здійснення спільно з геологічною й іншими службами відомчого контролю за правильністю розробки родовищ і користування надрами в цілях, не пов'язаних з видобутком корисних копалин, за дотриманням вимог з охорони надр і найбільш повного видобутку з надр основних та інших спільно з ними залягаючих корисних копалин, за виконанням заходів, які забезпечують під час проведення гірничих робіт безпеку для життя і здоров'я гірників і населення, охорону навколишнього природного середовища, будинків і споруд від шкідливого впливу цих робіт, і за дотриманням інших вимог, що визначають діяльність маркшейдерських служб. У Держгіртехнагляді Союзу й його республіканських підрозділах також були маркшейдерські відділи, які здійснювали контроль за термінами чинних нормативно-технічних документів та дотриманням вимог, встановлених згаданими НТД щодо виконання маркшейдерських і геодезичних робіт під час видобутку корисних копалин.

Нині, коли в Україні, крім державних, виникли приватні шахти й кар'єри, родовища нафти і газу і навіть окремі газові (нафтові) свердловини, на наш погляд, роль маркшейдерських служб повинна бути відповідально конкретизована, зокрема організаційно, через розпорядчі нормативно-правові та нормативно-технічні документи. Потребу в НТД та їх конкретний перелік визначено, зокрема, Протоколом засідання робочої групи для підготовки пропозицій з удосконалення роботи геолого-маркшейдерської служби державних підприємств Мінвуглепрому України від 13.06. 2008 р. (м. Донецьк). У переліку нормативних документів, які підлягають перегляду, коригуванню й перезатвердженню, що є додатком до згаданого Протоколу засідання робочої групи, міститься 14 НТД, зокрема, такі:

1. Інструкція з виконання маркшейдерських робіт;
2. Інструкція зі складання креслень обмінної гірничої документації;
3. Вимоги до складання й оформлення календарних планів гірничих робіт на вугільних шахтах;



4. Умовні позначення щодо гірничої графічної документації (приведені до відповідності з чинними НТД);

5. СОУ 10.1.00186080.002-2006 «Правила виконання маркшейдерських замірів та підрахунку обсягів видобутку вугілля за їх результатами».

6. Інструкція з обліку об'ємів видобутку рядового вугілля й готової вугільної продукції на шахтах, кар'єрах та збагачувальних фабриках;

7. Інструкція про порядок затвердження заходів з охорони будинків, споруд та природних об'єктів від шкідливого впливу гірничих розробок;

8. Вказівка з раціонального розміщення, охорони та підтримання гірничих виробок на вугільних шахтах;

9. Інструкція із спостереження за зрушенням гірничих порід земної поверхні та спорудами, підроблюваними на вугільних та сланцевих шахтах;

10. Вказівка про порядок та контроль безпечного ведення гірничих робіт у небезпечних зонах.

Аналогічні НТД щодо видобування нерудних корисних копалин, а також щодо нафтових та газових родовищ слід переглядати, коригувати й перезатверджувати.

Розробником маркшейдерських НТД для вугільних шахт і кар'єрів може бути УкрНДМІ (м.Донецьк) і щодо аналогічних документів для нафтових і газових родовищ та рудних і нерудних корисних копалин, то їх розроблення можна доручити технічним комітетам, створеним відповідно до Закону України від 17 травня 2001 року (2408-14) «Про стандартизацію», наприклад, при структурних підрозділах Держгіртехнагляду України.

Для виправлення стану справ з НТД щодо маркшейдерських і геодезичних робіт в гірничо-видобувній промисловості, потрібно передусім розробити концепцію створення нормативної бази згаданих документів та перелік чинних, а також визначити першочерговість розробки нових. У Концепції мають бути висвітлені такі питання:

- здійснення єдиної технічної політики і створення системи НТД, узгоджені із законодавчими актами України й системою стандартизації і нормування в гірничо-видобувній промисловості;
- розроблення пропозицій до програми перегляду (внесення змін та доповнень) нормативної бази СРСР і поступова заміна на нові НТД відповідно до належного технічного рівня, сучасних економічних умов і чинного законодавства України;
- узгодження нормативно-технічної бази з європейськими і міжнародними системами стандартизації щодо надійності, безпечності, охорони навколишнього середовища, промсанітарії й охорони праці.

Сучасні НТД повинні встановлювати гнучкі вимоги до техніки й технологій маркшейдерсько-геодезичних робіт на світовому рівні для раціонального використання надр, природних, матеріальних, енергетичних і трудових ресурсів. На відміну від традиційної суворо регламентованої системи побудови НТД, яка складалася переважно з обов'язкових норм і правил, сучасну систему потрібно будувати на рекомендаційних положеннях, але з обов'язковими вимогами щодо метрологічного забезпечення охорони життя і праці, надр, природного середовища. Сучасні НТД повинні регламентувати кінцеву мету тієї чи іншої роботи, але при цьому не обмежувати методи її досягнення, творчого інженерного підходу та ініціативи гірничого інженера-маркшейдера, геодезиста.

Система НТД повинна встановлювати не тільки вимоги щодо здійснення тієї чи іншої процедури, а й порядок нагляду за дотриманням цих вимог. Дозвіл на відхилення від вимог НТД в обґрунтованих випадках може дати тільки орган, який затвердив документ.

Реалізація в повному обсязі запропонованої концепції створення й супроводу бази НТД, впровадження організаційно-технічних заходів щодо маркшейдерських і геодезичних служб у сфері гірничо-видобувної промисловості забезпечить комплекс природоохоронних заходів та заходів з охорони надр, безпечну роботу гірничо-видобувних підприємств, що в кінцевому підсумку сприятиме розвитку галузі, убезпечить від антропогенних катастроф.

Надійшла до редакції

27.11.2012

УДК 336.6

**М.А. Малашевський,  
Л.В. Горпиніч**

## **ПІДХОДИ ДО ВИЗНАЧЕННЯ НАДНОРМАТИВНИХ ПЛОЩ ПІД ПРОМИСЛОВИМИ ОБ'ЄКТАМИ**

*У статті запропоновані підходи до обчислення необхідної нормативної площі земельної ділянки для здійснення промислової діяльності хлібокомбінату.*

**Ключові слова:** промисловий об'єкт, наднормативна площа, оподаткування.

**Постановка проблеми.** Нині в Україні досі невирішеною є надзвичайно актуальна проблема ефективного формування податкової системи.

Раціональне використання території міст на сьогоднішній день залишається нагальним питанням сучасності. На підставі аналізу планувальної структури м. Києва виявлено, що промислові об'єкти міста займають 8342,2 га (рис. 1) [1].

Протягом останнього десятиліття відбулися зміни в законодавстві України щодо стягнення плати за землю. Податок за частину площ земельних ділянок, наданих підприємствам, установам й організаціям (за винятком сільськогосподарських угідь), що перевищують норми відведення, повинен стягуватись над норми. Водночас не має чітко визначеного механізму встановлення нормативної площі для промислових об'єктів.

У визначенні нормативної площі земельної ділянки під промисловий об'єкт слід враховувати площу складських приміщень для зберігання сировини та готової продукції, то для підприємств харчової промисловості складські території регламентовані, оскільки в них зберігається продукція швидкого вжитку. Зважаючи на зазначене, об'єктом дослідження обрано підприємство харчової промисловості – хлібокомбінат.

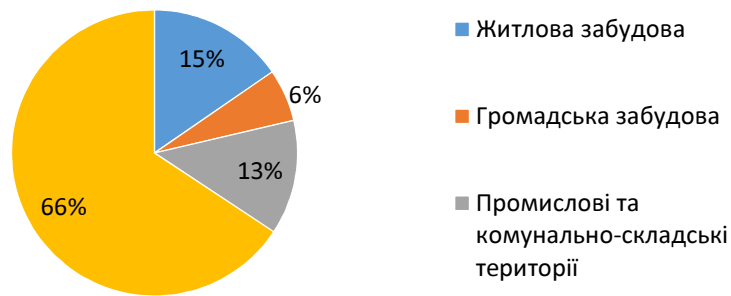


Рис. 1. Розподіл території в межах міста Києва

Згідно із санітарними нормами та правилами (СНиП) П-89-80 «Генеральные планы промышленных предприятий» [2] визначають нормативну площу земельної ділянки під промисловим об'єктом. Однак після затвердження цього документа змінилися технологічні процеси, устаткування і взагалі потреба деяких виробництв, тому розроблення підходів, які дали б змогу обчислити площі земельних ділянок для здійснення виробничої діяльності, є актуальним.

**Виклад основного матеріалу.** Територія міста поділена на зони залежно від їх функціонального використання:

- сільбищну (житлову);
- виробничу;
- ландшафтно-рекреаційну (ліси, парки, водойми).

Виробнича зона призначена для розміщення промислових підприємств і пов'язаних з ними об'єктів, комплексів, наукових організацій з їх дослідними виробництвами, комунально-складських об'єктів, споруд зовнішнього транспорту. Визначаючи розміри виробничої зони (промислового району), виходять з найбільш раціонального й економічно викладеного використання території міста, інколи ці райони виходять за межі міста [6].

Згідно зі СНиП [2] визначають нормативи мінімальної щільності забудови, що впливає на площу необхідної земельної ділянки, передбачають функціональне зонування території «з урахуванням технологічних зв'язків, санітарно-гігієнічних та протипожежних вимог, вантажообігу та видів транспорту», а також конфігурацію забудови, відстань між будівлями тощо.

У виборі земельної ділянки беруть до уваги: розміщення торгових точок, шляхи доставляння сировини, палива та готової продукції; напрямок розвитку міста; рівномірність розміщення механізованої хлібопекарської бази; зв'язок з районами обслуговування, наявність інженерних комунікацій; архітектурно-будівельні вимоги (розміри земельних ділянок наведено в табл. 1) [3].

Таблиця 1

#### Орієнтовні розміри земельних ділянок для хлібопекарських підприємств

Потужність підприємства, т/доб.	Площа земельної ділянки, га
135	1,8
65	1,6
45	1,0
30	0,9
20	0,7
10-3	0,5-0,3

Об'єктом дослідження обрано Київський хлібокомбінат №11 площею 2,137517 га, виробнича потужність якого становить 110 т на добу.

Визначимо яка площа земельної ділянки потрібна хлібокомбінату для здійснення виробничої діяльності.

Вважатимемо потужність підприємства за фактор X, а площу земельної ділянки за показник Y [4].

Побудуємо кореляційне поле залежності між потужністю хлібозаводу (фактором) X та площею земельної ділянки (показником) Y. Кореляційне поле є графічною залежністю між значеннями показника та фактора (рис. 1).

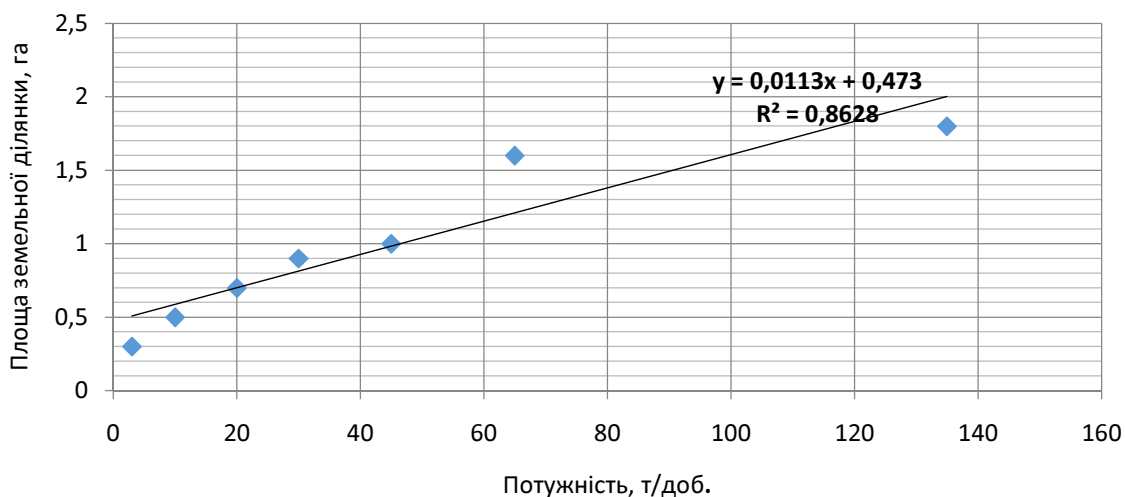


Рис. 1 Кореляційне поле

Для оцінювання параметрів лінійної регресії за допомогою методу найменших квадратів використаємо формули:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}, \quad (1)$$

де  $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ ,  $\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n}$  – вибіркове середнє фактора та показника відповідно;  $x_i, y_i, i = 1, 2, \dots, n$  – поточні значення фактора та показника відповідно;  $n$  – кількість спостережень (обсяг вибірки). З цією метою побудуємо табл. 2, у якій зазначимо вихідні дані та результати проміжних обчислень.

Використовуючи дані цієї таблиці, за формулами (1) маємо

$$\bar{x} = \frac{44}{7} = 6,29, \quad \bar{y} = \frac{6,8}{7} = 0,97.$$

$$\text{Тоді } b_1 = \frac{139,7}{12332} = 0,01133 \text{ га/т.}, \quad b_0 = 0,97 - 0,01133 * 6,29 = 0,473 \text{ га}$$

Отже, вибіркOVA модель лінійної регресії матиме вигляд  $y^* = 0,473 + 0,01133x$ .

## Оцінка параметрів лінійної регресії методом найменших квадратів

№ пор.	1	2	3	4	5	6	7	Σ	Середнє
$X_i$	135	65	45	30	20	10	3	308	44
$Y_i$	1,8	1,6	1	0,9	0,7	0,5	0,3	6,8	0,97
$X_i - X_{\text{сеп}}$	91	21	1	-14	-24	-34	-41	0	
$Y_i - Y_{\text{сеп}}$	0,83	0,63	0,03	-0,07	-0,27	-0,47	-0,67	0	
$(X_i - X_{\text{сеп}})^*$ $(Y_i - Y_{\text{сеп}})$	75,4	13,2	0,03	1	6,51	16,03	27,53	139,7	
$(X_i - X_{\text{сеп}})^2$	8281	441	1	196	576	1156	1681	12332	

Економічна інтерпретація параметрів побудованої моделі: коефіцієнт регресії  $b_1$  означає, що у разі зміни потужності підприємства на одну одиницю площа земельної ділянки в середньому збільшиться на 0,011 га. Оскільки цей коефіцієнт має додатний знак, то в міру зростання його значення потужність хлібозаводу буде збільшуватись. Розмірність цього коефіцієнта дорівнює відношенню розмірності показника до розмірності фактора, тобто га/т.

Параметр  $b_0$  не має економічного змісту.

Геометричний зміст коефіцієнта регресії  $b_1$  полягає в тому, що він чисельно дорівнює тангенсу кута нахилу лінії регресії до осі абсцис, а геометричний зміст параметра  $b_0$  полягає в тому, що його значення відповідає точці на лінії регресії на осі ординат, коли значення фактора дорівнює нулю.

Коефіцієнт еластичності змінної  $Y$  за змінною  $X$  визначимо за формулою:

$$E_x(y) = \frac{x}{y} \left( y^* \right)', \quad (2)$$

де  $(y^*)'$  – похідна побудованої моделі регресії за фактором. Оскільки модель регресії має вигляд  $y = b_0 + b_1x$ , то її похідна за  $x$  дорівнює  $b_1$ .

Тоді

$$E_x(y) = \frac{x}{y} b_1 = \frac{b_1 x}{b_0 + b_1 x}. \quad (3)$$

Наприклад, за  $x = 110$  за формулою (2) будемо мати

$$E_x(y) = \frac{0,01133 * 110}{0,473 + 0,01133 * 110} = 0,7249.$$

Коефіцієнт еластичності для  $x = 110$  означає, що за зміну потужності підприємства на 1% площа земельної ділянки в середньому зміниться на 0,7249%.

Для оцінювання статистичної значущості коефіцієнта регресії використаємо вираз

$$t = \left| \frac{b_1}{\sqrt{D^*(b_1)}} \right| > t_{кр}, \quad (4)$$

де  $D^*(b_1)$  – дисперсія коефіцієнта регресії;  $t_{кр}$  – критичне значення  $t$  – критерію Стьюдента [6] для рівня значущості  $0,5\alpha$  та  $k = n - 2$  ступенів свободи. Якщо цієї

нерівності дотримано, то з надійністю  $P=1-\alpha$  приймається гіпотеза про статистичну значущість коефіцієнта регресії. Тоді

$$D^*(b_1) = \frac{\sigma^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (5)$$

де невідома дисперсія  $\sigma^2$  випадкових відхилень  $e_i = y_i - y_i^*$  замінюється виправленою вибірковою дисперсією, тобто

$$\sigma^2 = S_e^2 = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2}. \quad (6)$$

Будуємо табл. 3 вихідних даних, потрібних для отримання результатів проміжних обчислень за вказаними формулами (4), (5) та (6).

Таблиця 3

**Оцінка статистичної значущості коефіцієнта регресії**

№ пор.	1	2	3	4	5	6	7	$\Sigma$
$X_i$	135	65	45	30	20	10	3	
$Y_i$	1,8	1,6	1	0,9	0,7	0,5	0,3	
$(X_i - X_{ср})^2$	8281	441	1	196	576	1156	1681	12332
$Y_i^*$	2,00	1,21	0,98	0,81	0,70	0,59	0,51	
$e_i$	0,04	0,15	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,25

Після використання даних табл. 3 та формул (4), (5) та (6) маємо  $S^2 = 0,03147$ ,  $D(b_1) = 0,000003$ ,  $t = 7,0918$ . За таблицею Стьюдента [5] для  $t$ -розподілу знаходимо, що для  $k = 5$  ступенів свободи навіть для  $P = 0,99$  (рівень значущості при цьому становитиме  $\alpha = 0,5(1-P) = 0,5(1 - 0,99) = 0,01$ ) критичне значення  $t$ -критерію є меншим за обчислене значення  $t$ -статистики (для вказаних умов  $t_{кр} = 4,60$ ).

Отже, з надійністю, не меншою, ніж 99%, приймаємо гіпотезу про значущість коефіцієнта регресії. Це свідчить про високу якість побудованої моделі лінійної регресії і доцільність її використання для подальшого дослідження.

Обчислені значення коефіцієнтів  $b_0$  та  $b_1$  є оцінками параметрів моделі генеральної сукупності  $\beta_0$  і  $\beta_1$  відповідно, тобто вважатимемо, що  $b_0 \approx \beta_0$  і  $b_1 \approx \beta_1$ . Однак ці оцінки є точковими. Щоб мати уявлення про точність та надійність оцінки  $b_i$  параметра  $\beta_i (i = 1,2)$ , використаємо інтервальну оцінку параметра. З цією метою за формулою

$$b_i - t_{\alpha/2, n-2} \sqrt{D^*(b_i)} < \beta_i < b_i + t_{\alpha/2, n-2} \sqrt{D^*(b_i)}, \quad (7)$$

( $i = 0,1$ ) знайдемо довірчі інтервали. Після використання раніше отриманих результатів маємо  $-0,8047 < \beta_1 < 0,8273$ . Отже, коефіцієнт регресії для лінійної моделі генеральної сукупності з надійністю, не меншою, ніж  $P = 0,99$ , може змінюватись в інтервалі від  $-0,8047$  до  $0,8273$ .

З метою побудови довірчих інтервалів для коефіцієнта  $\beta_0$  визначимо дисперсію  $D(b_0)$  за формулою

$$D(b_0) = \frac{D(b_1)}{n} \sum_{i=1}^n x_i^2. \quad (8)$$

Будуємо табл. 4. Використовуючи отримані вище результати та дані з табл. 4, маємо  $D(b_0)=0,0066$ . Тоді  $0,0992 < \beta_0 < 0,8468$ . Отже, коефіцієнт  $\beta_0$  для лінійної моделі генеральної сукупності з надійністю, не меншою, ніж  $P=0,99$ , може змінюватись в інтервалі від 0,0992 до 0,8468.

Таблиця 4

**Побудова дворічних інтервалів для коефіцієнтів регресії**

№ пор.	1	2	3	4	5	6	7	Σ
Xi	135	65	45	30	20	10	3	
Xi <sup>2</sup>	18225	4225	2025	900	400	100	9	25884

За достатньо великої кількості випробувань коефіцієнти  $\beta_1$  та  $\beta_0$  не рідше, ніж в 99% випадків будуть знаходитись у вказаних інтервалах, і тільки не більш, ніж в 1% випадків їх значення можуть вийти за межі цих інтервалів.

Визначимо коефіцієнт детермінації за формулою:

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i^* - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}. \quad (9)$$

Будуємо табл. 5. Після використання її даних та раніше отриманих результатів маємо  $R^2 = \frac{1,58256}{1,83429} = 0,8628$ .

Таблиця 5

**Визначення коефіцієнта детермінації**

№ пор.	1	2	3	4	5	6	7	Σ
Xi	135	65	45	30	20	10	3	308
Yi	1,8	1,6	1	0,9	0,7	0,5	0,3	
Yi*	2,00	1,21	0,98	0,81	0,70	0,59	0,51	
(Yi-Y <sub>сер</sub> ) <sup>2</sup>	0,68653	0,3951	0,00082	0,0051	0,0737	0,222245	0,45082	1,83429
(Yi*-Y <sub>сер</sub> ) <sup>2</sup>	1,06	0,06	0,00	0,03	0,07	0,15	0,22	1,58256

Економічний зміст отриманого числа полягає в тому, що на 86,28% зміна площі земельної ділянки залежить від зміни потужності підприємства і тільки на 3,81% його зміна пояснюється не врахованими факторами. Це ще раз підтверджує високу якість побудованої моделі та доцільність її використання для подальшого дослідження економічного об'єкта.

Точкове прогнозне значення площі земельної ділянки визначимо за побудованою моделлю  $y^* = b_0 + b_1x$ . При цьому прогнозне значення показника визначимо за формулою:

$$y_n = b_0 + b_1 x_n. \quad (11)$$

Після підставлення чисельних даних в формулу (11) отримаємо  $y_n = 0,47 + 0,01133 \cdot 110 = 1,71909$  га. Отже, якщо потужність хлібозаводу становитиме 110 т/доб., то площа земельної ділянки дорівнюватиме 1,71909 га.

Інтервальний прогноз визначимо за співвідношенням

$$y_n - \Delta y < y_n < y_n + \Delta y, \quad (12)$$

де  $\Delta y = t_{кр} S^*$ ;  $S^* = S \sqrt{1 + \frac{1}{n} + \frac{(x_n - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}}$ .

Використовуючи раніше отримані результати, маємо

$$S^* = \sqrt{0,031466} \sqrt{1 + \frac{1}{7} + \frac{(110 - 44)^2}{12332}} = 0,21697; \Delta y = 7,0918 \cdot 0,217 = 0,5387.$$

Тоді  $1,72 - 0,217 < y_n < 1,719 + 0,217$ ;  $1,50212 < y_n < 1,93606$ .

Отже, з надійністю не меншою, ніж  $P=0,99$  за  $x=110$  т/доб., можна стверджувати, що площа, потрібна для земельної ділянки хлібозаводу, знаходиться в межах від 1,50212 до 1,93606 га.

Розрахунками обґрунтовано надійність отриманого значення, яка становить 99%. Встановлено, що зміна площі земельної ділянки на 86,28 % залежить від потужності підприємства, тільки на 3,81% зміна пояснюється неврахованими факторами.

Запропонований підхід дає можливість стверджувати про надійність отриманих результатів.

**Висновки.** В результаті проведених досліджень запропоновано підхід, який дає змогу визначати нормативну площу земельної ділянки під промисловим об'єктом. За допомогою задач економетрії розраховано наднормативну площу хлібокомбінату, яка становить 0,418481 га.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Концепція* стратегічного розвитку міста Києва. Комунальна організація «Інститут генерального плану м. Києва» Генеральний план м. Києва. – К., 2011
2. *СНиП II-89-80* «Генеральные планы промышленных предприятий». – М.: Стройиздат, 1981.
3. *Гатилин Н.Ф.* Проектирование хлебозаводов. /Н.Ф. Гатилин. – М.: Пищевая пром-сть, 1975. – С.234, 235.
4. *Кулявець В.О.* Економетрія. / В.О.Кулявець. – Житомир, 2006. – С.2-6.
5. *Лецинський О.Л.* Економетрія: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. – К.: МАУП, 2003. – С.188.

## Інтернет-джерела

6. <http://architecturehistory.ru/lekcii/obshhie-svedeniya-o-proektirovanii-generalnogo-plana-promyshlennogo-predpriyatiya.html>



## ОБҐРУНТУВАННЯ ДОПУСТИМОЇ СЕРЕДНЬОЇ КВАДРАТИЧНОЇ ПОХИБКИ ПОЛОЖЕННЯ КУТІВ ПОВОРОТУ МЕЖ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК

*Виконано дослідження та систематизацію факторів, що впливають на точність визначення координат кутів повороту меж земельних ділянок. Визначено допустиму середню квадратичну похибку положення кутів повороту меж земельних ділянок.*

**Ключові слова:** *площа земельної ділянки, межовий знак, кут повороту меж земельної ділянки.*

**Вступ.** За останні 10 років в Україні суттєво змінилось ставлення до інформаційного забезпечення ведення державного земельного кадастру. Нині інформація державного земельного кадастру є основою для охорони та дотримання прав на земельні ділянки, а також здійснення фіскальних функцій. У цьому аспекті найбільше уваги слід приділяти метричній інформації, яка є вихідною для формування інших видів інформації в державному земельному кадастрі. До метричної інформації належать координати кутів повороту меж земельної ділянки, лінійні проміри та її площа. Площа є ключовою величиною для здійснення правочинів щодо земельних ділянок, реєстрації документів, що посвідчують права на земельні ділянки, та грошових оцінок земельних ділянок і нарахування земельного податку.

З впровадженням сучасних геодезичних методів збирання та оброблення просторової інформації суттєво підвищилась точність геодезичних робіт під час кадастрових зйомок. Проте досі в державному земельному кадастрі є значна кількість даних, внесених у різні періоди різними виконавцями робіт, які містять спотворену метричну інформацію. Наслідком цього стала наявність перетинів та нестикувань меж земельних ділянок в автоматизованій системі державного земельного кадастру, а нормативно-правової бази для вирішення проблеми немає. На технічному рівні є можливості виправити такі неточності, але це спричинить зміни конфігурацій та площ, які повинні бути незмінними величинами.

**Аналіз останніх досліджень.** Питання нормування похибок площ та пропозицій щодо врегулювання проблем, пов'язаних із спотвореною інформацією в державному земельному кадастрі висвітлено в численних публікаціях. У роботі [12] автори пропонують одну з методик виконання оцінки точності визначення площ земельних ділянок. Вони виявили певні неузгодженості в нормативно-правових актах України, що стосуються питань точності геодезичних робіт під час виконання кадастрових зйомок. Автори пропонують виконувати оцінку точності площ земельних ділянок у випадках, коли контур земельної ділянки збігається з теодолітним ходом. Проте у практиці виконання геодезичних робіт, особливо на забудованих територіях, прокладання теодолітного

ходу по контуру земельної ділянки практично не можливе. Автори не зазначили також, якими саме приладами виконано експериментальні дослідження і чому були обрані зазначені земельні ділянки.

У статті [5] розглянуто сучасні проблеми, пов'язані із веденням державного земельного кадастру в Україні. Основною з них визнано наявність земельних ділянок із спотвореннями. Спотворення найчастіше стосуються розміщення земельної ділянки та її площі. Автор систематизував причини появи таких похибок, але не запропонував шляхів вирішення поставлених проблем.

Цікавість викликає публікація [1], адже в ній авторами розглянуто та розтлумачено багато спірних моментів, які стосуються сучасного стану геодезичного забезпечення та ведення державного земельного кадастру на території України. Зокрема, автори наголошують на необхідності встановити допустимі відхилення площ земельних ділянок для різних категорій земель. Це питання є мало дослідженим і потребує ретельного опрацювання. Наголошено також на розвитку інфраструктури високоточної системи координат УСК, виявлено середні квадратичні похибки визначенні координат пунктів державної геодезичної мережі.

У публікаціях [7-11] порушено важливі питання встановлення допустимих середніх квадратичних похибок площ земельних ділянок. Автори виконали аналіз сучасного законодавства, що стосується точності метричної інформації державного земельного кадастру, запропоновано певні моделі розрахунків середніх квадратичних похибок площ земельних ділянок, а також окреслили потребу у встановленні допустимих похибок залежно від площі земельних ділянок.

**Постановка завдання.** Завданням дослідження є обґрунтування допустимих середніх квадратичних похибок у визначенні координат кутів повороту меж земельних ділянок.

**Актуальність дослідження.** З огляду на потребу прискорити завершення сучасної земельної реформи та постійне збільшення ринкової вартості земельних ділянок постає необхідність у нормуванні похибок, які виникають під час робіт із землеустрою. Нормування похибок дасть змогу вирішити деякі проблеми під час ведення державного земельного кадастру та робіт із землеустрою.

**Виклад основного матеріалу.** За результатами аналізу сучасних наукових публікацій можна стверджувати, що всі науковці підтверджують наявність нерегульованості вимог до середніх квадратичних похибок координат кутів повороту меж земельних ділянок у нормативно-правових актах [3,4,6]. До цього часу обґрунтування точності виконання геодезичних робіт для формування метричної інформації державного земельного кадастру провадилось, зважаючи на графічну точність масштабів планово-картографічного матеріалу в різних типах населених пунктів. Проте такий підхід суперечить дійсності, адже збір метричної інформації відбувається лише за допомогою наземних геодезичних методів. До того ж графічна точність масштабів тепер, у час широкого використання цифрових векторних зображень, не має значного впливу.

Точність положення кутів поворотів меж земельних ділянок складається безпосередньо з точності визначення геометричного центру кутів поворотів меж

земельних ділянок, точності геодезичного обладнання та точності системи координат, у якій провадять роботи. Далі обґрунтуємо кожну зі складових точності взаємного розміщення кутів поворотів меж земельних ділянок.

Відповідно до інструкції [3] в Україні визначено тип межових знаків, якими слід закріплювати на місцевості кути поворотів меж земельних ділянок. У практиці виконання робіт із землеустрою такі межові знаки трапляються дуже рідко. Причиною є небажання власників або користувачів земельних ділянок додатково витратити гроші, якщо встановлення таких межових знаків є необов'язковим. Особливо це стосується земель сільськогосподарського призначення, де пластикові межові знаки можуть бути знищені. Проте у разі їх встановлення з переліку факторів, які впливають на похибки, вилучають похибку зумовлену межовим знаком. Це відбувається через те, що на межовому знаку встановленого зразка позначено металеву марку із зображенням його центра.

Під час перенесення меж земельних ділянок на місцевість зазвичай використовують тимчасові межові знаки у вигляді металевих труб й арматури, які за нагоди замінюють на паркани. У випадку земель сільськогосподарського, лісгосподарського, історико-культурного призначення та водного фонду закріплення кутів поворотів меж земельних ділянок виконують з використанням металевих труб з їх обкопуванням.

Аналізуючи фахову літературу та інформацію з мережі Інтернет, можна виділити такі основні типи парканів:

- дерев'яні;
- металеві;
- бетонні, цегляні та кам'яні.

Паркани кожного з цих типів мають опори, які закопують на певну глибину в ґрунт, а між ними розміщують основні секції паркану. Встановлюючи огорожу, намагаються дбати про її вертикальність. Проте згодом під дією зовнішніх чинників можуть відбуватись відхилення огорожі в будь-якому напрямку від її вертикального положення. Теоретично можливими є нахили кутів поворотів парканів 1-3°. Нахил понад 3° помітний для людського ока, тому під час виконання робіт на місцевості на це слід звертати увагу і виконувати геодезичне знімання об'єкта місцевості якнайближче до землі задля зменшення впливу похибки. Окрім нахилу кутів поворотів меж земельних ділянок, слід мати на увазі також похибки визначення геометричного центра. З огляду на досвід спостерігача та можливості людського ока виявлено, що гранична похибка визначення геометричного центра в польових умовах становить близько 15% від геометричного розміру об'єкта.

Наведені типи парканів та їх різновиди, які найчастіше трапляються у практичній діяльності, згруповано у таблиці, залежно від матеріалу виготовлення та геометричних характеристик кута повороту межі земельної ділянки.

Залежно від геометричних параметрів споруд встановлено граничні похибки визначення їх геометричних центрів. Згідно з наведеною в таблиці класифікацією, можна стверджувати, що тип кутів поворотів меж земельних ділянок має важливе значення, оскільки безпосередньо впливає на відносну точність визначення метричної

інформації, адже містить низку спотворювальних факторів, до яких належать його висота, кут нахилу та діаметр. Середнє значення похибки визначення геометричних центрів кутів поворотів становить 0,090 м.

Таблиця

**Класифікація точності визначення геометричних центрів штучних споруд, які є кутами повороту меж земельних ділянок**

№ пор.	Назва штучної споруди, яка є кутом повороту меж земельної ділянки	Геометричні характеристики штучної споруди		Діапазон похибок визначення центра за кута нахилу 1-3°, м
		Висота, м	Діаметр/розмір, м	
1	Металевий стовп	1,5	0,051	0,027-0,079
		2,0	0,051	0,036-0,105
		2,5	0,06	0,045-0,131
		3,0	0,08	0,054-0,157
2	Дерев'яний стовп круглий	1,5	0,076	0,029-0,079
		2,0		0,037-0,105
		2,5		0,045-0,131
		3,0		0,054-0,157
3	Дерев'яний стовп квадратний	1,5	0,06 x 0,06	0,029-0,080
		2,0		0,037-0,105
		2,5		0,045-0,131
		3,0		0,054-0,158
4	Бетонний стовп	1,5	0,10 x 0,10	0,034-0,081
		2,0		0,041-0,107
5	Цегляний стовп	1,5	0,38 x 0,38	0,085-0,113
		2,0		0,088-0,132
6	Цегляний стовп	1,5	0,51 x 0,51	0,111-0,134
		2,0		0,114-0,151

Отримані результати важливі для подальшого дослідження, адже вони є одним із джерел накопичення похибок, про які йтиметься далі.

У країнах Європи як межові знаки зазвичай використовують металеві трубки завдовжки близько 50 см, діаметром приблизно 2 см, які закопують у землю на певну глибину, а поряд із ними будують паркани. Таким чином досягають збереження межових знаків без додаткових процедур у разі зміни паркану.

Залежно від використовуваного геодезичного обладнання можливі такі варіанти виконання геодезичних робіт: геодезичне знімання за допомогою класичного геодезичного обладнання, за допомогою супутникового радіонавігаційного обладнання або комбіноване застосування обох типів обладнання. У практичній діяльності в умовах забудови або відсутності у доступній близькості закріплених пунктів Державної геодезичної мережі для передавання координат використовують радіонавігаційні супутникові системи, а безпосередньо для виконання знімальних робіт – класичне

геодезичне обладнання. Передають координати на пункти знімальної основи звичайно за допомогою статичного методу. Середня точність координат за отриманими після опрацювання результатами вимірювання у статичному режимі становить близько 2 см. Що стосується знімання з використанням класичного обладнання, а саме електронних тахеометрів або теодолітів та віддалемірних пристроїв, то для цього зазвичай вдаються до полярних або біполярних методів. Відносна точність визначення положення кутів поворотів меж земельних ділянок за результатами виконання такого знімання не перевищує 2 см.

Ще одним фактором, який впливає на точність виконання геодезичних робіт, є точність системи координат. Раніше на території України всі геодезичні роботи із землеустрою виконували у СК-42 та у похідних СК-63 і місцевих системах координат. Нині у виробничу діяльність введено Українську систему координат (УСК-2000). Питання встановлення параметрів переходу між СК-42 та УСК-2000 порушується багатьма авторами, зокрема у дослідженій публікації [1]. Як показали практичні дослідження, завдання з перетворення координат між двома системами розв'язано. У результаті встановлено точність трансформації координат із СК-42 в УСК-2000 на рівні  $\pm 0,030$  м, що становить середню точність положення пунктів державної геодезичної мережі в системі координат УСК-2000. Відповідно до оприлюднених даних [1] заявлена точність визначення координат пунктів УСК-2000 така:

- 1 клас – 0,003 м;
- 2 клас – 0,020 м;
- 3 і 4 клас – 0,032 м.

Таким чином, можна констатувати, що похибка внаслідок застосування системи координат під час визначення координат кутів поворотів меж земельних ділянок становить 0,032 м.

У результаті виконаних досліджень з'ясовано, що на загальну точність визначення положення кутів повороту меж земельних ділянок ( $m_t$ ) впливають точність визначення геометричного центра кута повороту меж земельної ділянки ( $m_{КП}$ ), відносна точність виконання геодезичних робіт з використанням наземного класичного ( $m_{КО}$ ) та супутникового радіонавігаційного обладнання ( $m_{СРНО}$ ) і точність системи координат ( $m_{СК}$ ), у якій виконують роботи. Загальну похибку описують за такою формулою:

$$m_t = \sqrt{m_{КП}^2 + m_{КО}^2 + m_{СРНО}^2 + m_{СК}^2}, \quad (1)$$

де  $m_{КП} = 0,090$  м;  $m_{КО} = 0,020$  м;  $m_{СРНО} = 0,020$  м;  $m_{СК} = 0,032$  м.

Таким чином,  $m_t = 0,100$  м, що не суперечить даним більшості наукових публікацій та нормативно-правовим актам, які регламентують точність виконання робіт. Така точність є найкращою, проте для узагальнення встановимо значення допустимої середньої квадратичної похибки положення кутів поворотів меж земельних ділянок ( $m_{дод}$ ):

$$m_{дод} = m_t \cdot \sqrt{2}. \quad (2)$$

За змістом формула (2) відображає середню квадратичну похибку визначення кожної з координат кутів поворотів меж земельних ділянок відповідно до формули (1). Питання класифікації похибок площ земельних ділянок дотепер залишається невирішеним і потребує негайного розв'язання. У роботі прийнято рішення кардинально змінити підхід до класифікації похибок площ земельних ділянок від зазначених у чинних інструкціях [3; 4; 6]. Головними особливостями є потреба у встановленні, незалежно від типу населеного пункту, середньої квадратичної похибки визначення координат кутів повороту меж земельної ділянки, з гранично допустимою похибкою 10 см. Проте встановлена гранично допустима похибка в автоматизованій системі державного земельного кадастру не стає на заваді більш точному визначенню координат кутів повороту меж земельних ділянок. У цьому випадку похибки площ також будуть меншими. Визначені допустимі середні квадратичні похибки положення координат кутів поворотів меж земельних ділянок відповідно до формули (2) були використані під час розрахунків [7,9,11].

Додатково слушно було б запровадити гранично допустиму похибку розбіжності координат кутів повороту меж земельних ділянок. Основна мета запровадження такої похибки – регулювання точності положення кутів поворотів меж земельних ділянок під час збирання та обробки інформації різними виконавцями робіт у різний час.

**Висновки та пропозиції.** 1. У результаті виконання дослідження виявлено та обґрунтовано основні чинники, які впливають на точність визначення координат кутів поворотів меж земельних ділянок на місцевості.

2. Для кожного з чинників встановлено середню квадратичну похибку, визначено сукупну середню квадратичну та допустиму похибку положення координат кутів поворотів меж земельних ділянок.

3. Уніфікація середніх квадратичних похибок координат кутів поворотів меж земельних ділянок незалежно від типу населеного пункту дасть змогу в подальшому дотримуватись принципів сталого розвитку в питаннях управління земельними ресурсами.

4. Для відображення впливу похибки внаслідок визначення геометричного центра межового знаку в державному земельному кадастрі можна додатково розмістити опис меж земельних ділянок із зазначенням типу межового знаку.

5. Подальше дослідження має бути спрямоване на класифікацію допустимих похибок площ земельних ділянок на підставі результатів, уміщених у роботі [11].

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Заєць І.М.* Інфраструктура єдиної високоточної системи координат існує! [Текст] / Заєць І.М., Карпінський Ю.О. // Вісник геодезії та картографії – 2011. – № 4. – С. 4-9.
2. *Закон України* “Про Державний земельний кадастр” від 07.07.2011 № 3613-VI Чинний від 01.01.2012.

3. *Інструкція* про встановлення (відновлення) меж земельних ділянок в натурі (на місцевості) та їх закріплення межовими знаками, затверджена наказом Державного комітету України із земельних ресурсів від 18.05.2010 № 376, із змінами і доповненнями, внесеними наказом Державного комітету України із земельних ресурсів від 25.02.2011 № 117.

4. *Керівний* технічний матеріал «Інвентаризація земель населених пунктів (наземні методи)», затверджений наказом ГУГКК від 02.02.1993 № 6. – К., 1993.

5. *Маліцький А.* Спотворення даних земельного кадастру під час приватизації земельної ділянки / А. Маліцький [Текст] // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, – 2012. – Вип. I (23) – С. 268-271.

6. *Положення* про земельно-кадастрову інвентаризацію земель населених пунктів, затверджене наказом Державного комітету України земельних ресурсів від 26.08.1997 № 85.

7. *Рябчій В.* Визначення допустимих значень середніх квадратичних похибок площ земельних ділянок за межами населених пунктів / В. Рябчій, М. Трегуб [Текст] // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – 2011. – Вип. 74. – С. 136-142.

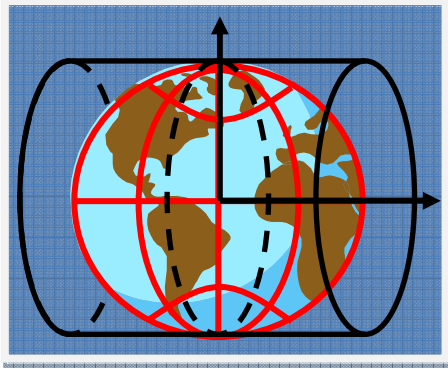
8. *Рябчій В.* Визначення середньої квадратичної похибки взаємного положення кутів поворотів межі земельної ділянки / Рябчій В., Рябчій В. [Текст] // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, – 2012. – Вип. II (24) – С. 137-141.

9. *Рябчій В.А.* Визначення допустимих значень середніх квадратичних похибок обчислення площ земельних ділянок у різних типах населених пунктів / В.А. Рябчій, В.В. Рябчій, М.В. Трегуб [Текст] // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – 2011. – Вип. 75. – С. 157-167.

10. *Рябчій В.А.* Встановлення точності визначення площ земельних ділянок під малими об'єктами нерухомості / В.А. Рябчій, В.В. Рябчій, О. Янкін [Текст] // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – Зб. наук. праць. Львів, 2010. – Вип. II (20). – С. 204-208.

11. *Рябчій В.В.* Дослідження та апроксимація функції визначення допустимих середніх квадратичних похибок площ земельних ділянок / В.В. Рябчій, М.В. Трегуб [Текст] // Геодезія, картографія та аерофотознімання. – 2012. – Вип. 76. – С.

12. *Церклевич А.* Про один метод оцінювання точності визначення площ земельних ділянок / А. Церклевич, Ю. Дейнека, С. Петров [Текст] // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, 2012. – Вип. I (23). – С. 263-267.



## ГЕОІНФОРМАТИКА І КАРТОГРАФІЯ

УДК 528. 74:625

М.П. Генсецький,  
В.С. Староверов

### ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ МІСЬКОЇ ТЕРИТОРІЇ В СИСТЕМІ МІСТОБУДІВНОГО КАДАСТРУ

*Наведено структуру комплексної інформаційної моделі міської території. Деталізовано структуру основних моделей міського середовища, їх завдання, функціональне призначення та взаємозв'язок в єдиному базовому наборі геопросторових даних.*

**Ключові слова:** містобудівний кадастр, міська територія, кадастрова модель.

**Постановка проблеми.** Інформаційна модель міської території є складовою інтегрованої геоінформаційної системи ведення містобудівного кадастру для забезпечення інформаційних потреб органів державної влади й органів місцевого самоврядування, організацій, підприємств, громадських об'єднань і громадян на основі формування, інтегрування, постійного оновлення та ефективного використання геоінформаційних ресурсів про територію міста із застосуванням сучасних геоінформаційних технологій [3; 6].

Ця мета досягається шляхом створення та інтегрування міських геоінформаційних ресурсів й окремих геоінформаційних систем різного призначення в комплексну міську геоінформаційну систему на основі єдності баз геопросторових даних, інструментальних програмно-технічних засобів, технологічного, нормативного та організаційного забезпечення виконання поставлених завдань, а також для інформаційно-аналітичного забезпечення управління господарським комплексом міста [4; 5].

**Виклад основного матеріалу.** Міський територіально-господарський комплекс як об'єкт кадастрового обліку, моніторингу, планування й управління відображається у таких взаємопов'язаних геоінформаційних моделях міста (рис. 1): структурно-функціональній, кадастровій, інженерно-інфраструктурній, ресурсно-екологічній та базовій координатно-просторовій.

Структурно-функціональна модель території є основою для інших комплексних моделей території, не обов'язково пов'язаних з нерухомістю. Структурно-



функціональну модель формують і використовують у своїй діяльності управління містобудування, архітектури та дизайну міського середовища [2; 3].

Ця модель утворюється сукупністю таких субмоделей:

- генеральний план міста, що містить опорний план, функціональне, інженерно-геологічне, історико-культурне, ландшафтне, санітарно-гігієнічне зонування, водоохоронні зони, містобудівні обмеження, історико-архітектурний опорний план і схеми розвитку території та міської інженерної інфраструктури тощо;
- реєстр пам'яток історико-культурної спадщини;
- місцеві правила забудови та іншого використання території міста;
- план червоних ліній;
- проекти планування, землевідведень та землеустрою;
- резервування території для громадських та державних потреб;
- план привабливих для інвестицій земельних ділянок і об'єктів.

У структурно-функціональній моделі території фактично закріплено публічні права на земельні ресурси міста, які відіграють важливу роль у сучасній системі управління землекористуванням [6].

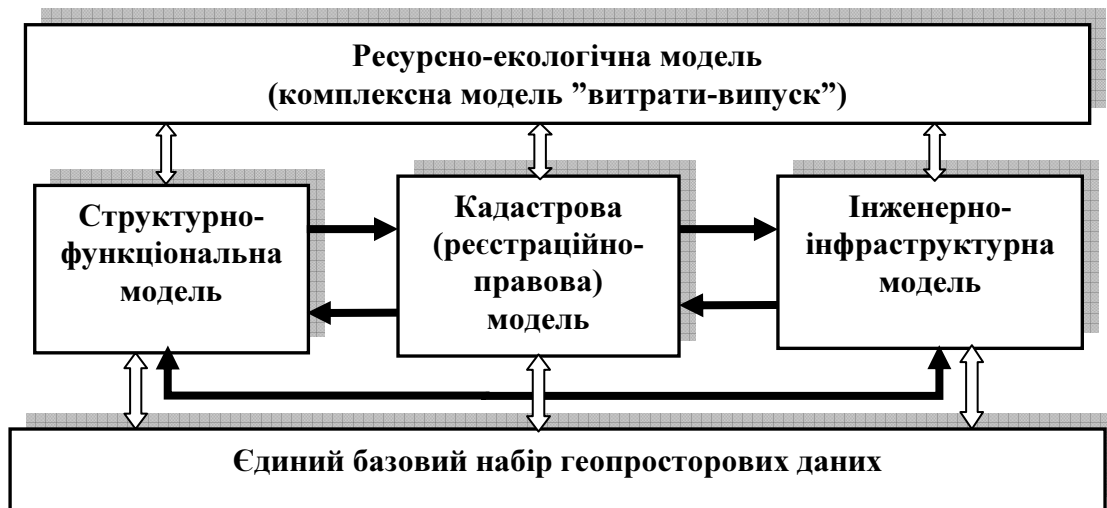


Рис. 1. Структура комплексної інформаційної моделі міської території

Кадастрова (реєстраційно-правова) модель утворюється в результаті діяльності міського управління земельних відносин, управління головного архітектора міста і фонду комунальної власності. У кадастровій моделі відображається інформація про об'єкти кадастрового обліку в аспекті правових процесів, пов'язаних з набуттям та передачею прав на нерухомість.

Основою цієї моделі становить інформація про іманентні (внутрішні) властивості об'єктів нерухомості, про права на ці об'єкти та про суб'єктів прав. Структурно в кадастровій моделі виділяють сукупність таких логічно пов'язаних реєстрів:

- реєстри об'єктів нерухомості - земельних ділянок та їх частин (за видами функціонального використання землі або об'єкта нерухомості, розміщеного на ній);
- реєстр будівель та окремих приміщень, які є об'єктами права;
- реєстри суб'єктів права (юридичних і фізичних осіб);
- реєстр прав і документів, що посвідчують права;
- реєстр сервітутів, обмежень та обтяжень прав;
- реєстр кадастрових і територіальних зон тощо.

Кадастрова модель є основою всіх операцій з нерухомістю, оподаткування, а також вихідною для аналізу стану використання та планування розвитку території.

Інженерно-інфраструктурна модель повинні створювати, а також її дотримуватися комунальні підприємства і служби експлуатації інженерних мереж. Названа модель містить таке:

- реєстри міських інженерних мереж та споруд на них за видами забезпечення (вода, газ, тепло, електроенергія, телекомунікації і зв'язок, каналізація);
- реєстри електричних мереж та зовнішнього освітлення;
- реєстри електричних мереж телекомунікації і зв'язку;
- реєстр вулично-дорожньої мережі та дорожніх споруд;
- модель мережі міського транспорту.

Інженерно-інфраструктурна модель потрібна як для надійної експлуатації об'єктів інженерної інфраструктури, так й оцінювання фактичного стану інженерного забезпечення земельних ділянок та об'єктів нерухомості залежно від їх функціонального використання. Просторове розміщення об'єктів міських інженерних мереж є підставою для встановлення сервітутів та обмежень на відповідних земельних ділянках.

Комплексна ресурсно-екологічна модель містить дані, що агрегуються за функціональними групами моделі «витрати-випуск», відповідно до таких функцій природно-ресурсного потенціалу:

- земельні ресурси (правовий статус, стан, функціональне призначення і фактичне використання, співвідношення попиту і пропозиції на земельні ресурси, динаміка доходів від землекористування);
- сировинні ресурси (які вилучають і споживають як сировину для матеріального виробництва й кінцевих продуктів споживання людиною, рівень регенерації основних металів, скла, паперу тощо, обсяги зворотних вод в промисловості та побуті тощо);
- енергетичні ресурси (споживані з вилученням і без вилучення для вироблення тепла і електроенергії, частка відновлюваних ресурсів в загальному виробництві енергії та її споживання в побутовому секторі, енергоємність доходів);
- ґрунтові ресурси (які вилучають частково і споживають як основний засіб виробництва в сільському і лісовому господарстві; площі ґрунтів із зниженими рівнями гумусу порівняно з природними; площі ерозійних та інших порушених земель);
- інженерно-геологічні ресурси (споживані як окремі властивості літосфери у будівництві і розміщенні об'єктів інфраструктури);
- повітряні ресурси (динаміка забруднення повітря та дії запобіжних заходів);
- середовищеформувальні (або екологічні) – використані як стабілізаційні, а також і для підтримки чинників природного середовища, які забезпечують сталий рівень екологічного потенціалу території.

Ресурсно-екологічна модель території, створювана на основі інтегрування й аналітичної обробки даних з кадастрових та моніторингових систем, є важливою складовою системи інформаційної підтримки ухвалюваних управлінських рішень.

Єдиний базовий набір геопросторових даних ГІС МК є базовою цифровою моделлю місцевості, що призначена для координатно-просторової прив'язки та геоінформаційного інтегрування всіх моделей міського територіально-господарського комплексу.

До основних інформаційних ресурсів єдиної базової координатно-просторової моделі належать:

- планово-висотна геодезична мережа міста;
- цифрові растрові моделі топографічних планів території міста в масштабах 1 : 2000 та 1 : 500;
- цифрові векторні моделі топографічних планів території міста в масштабах 1 : 2000 та 1 : 500;
- цифрова модель рельєфу з роздільною здатністю масштабу 1 : 2000;
- цифрова векторна модель топографічної карти масштабу 1 : 10 000;
- цифровий ортофотоплан на основі космічного знімку високого розрізнення масштабу не дрібніше 1 : 5000;
- цифрова модель базового (каркасного) плану міста масштабу 1 : 2000;
- реєстр вулиць з цифровою векторною моделлю осей вулиць з координатною прив'язкою до плану масштабу 1 : 2000;
- реєстр адрес з їх координатною прив'язкою до плану масштабу 1 : 2000.

Базовий план визначають як сукупність каркасних елементів території, до яких належать:

- межа населеного пункту та міських адміністративних районів;
- магістралі загальноміського та районного рівнів;
- осі вулиць;
- межа смуги землевідведення залізниці;
- природні перешкоди (ріки, струмки, канали, яри тощо);
- в окремих випадках межі ділянок виробничих підприємств, жилих масивів, зелених та рекреаційних зон.

За топологією елементи каркасного плану формуються як векторна сегментно-вузлова модель, у якій кожний сегмент семантично однорідний, наприклад, є межею території підприємства зі смугою землевідведення залізниці або частиною берегової лінії тощо. Для кожного сегмента визначається природа його походження. Для суміжних сегментів обов'язковою вимогою є топологічна коректність вузлів.

Базовому плану та реєстру вулиць, адрес в міській інфраструктурі геопросторових даних та в ГІС МК надають статусу офіційного відкритого загальноміського геоінформаційного ресурсу як основи для створення та інтегрування даних з різних джерел [1, 2].

Створення, ведення та доповнення реєстрів вулиць й адрес покладено на адміністраторів відповідних реєстрів, повноваження яких визначено Положенням про порядок інформаційних ресурсів єдиної цифрової топографічної основи населеного пункту відповідно до Положень про реєстри вулиць й адрес.

Створення, ведення та доповнення базового набору геопросторових даних покладено на адміністратора інформаційних ресурсів єдиної цифрової топографічної основи населеного пункту, повноваження якого визначено в Положенні про інформаційні ресурси єдиної цифрової топографічної основи.

**Висновки.** Інформаційна модель міської території в системі містобудівного кадастру сприятиме створенню геоінформаційної системи, яка значною мірою сформує єдиний інформаційний простір міста, забезпеченню інформаційної взаємодії всіх суб'єктів системи управління містом, а також задоволенню їх інформаційних потреб

[7]; забезпеченню інформаційної, комунікаційної і функціональної сумісності та взаємодії автоматизованих систем ведення галузевих кадастрів, інформаційних систем і реєстрів об'єктів на території міста; унеможливить дублювання робіт та формування й підтримці міських інформаційних ресурсів, дасть змогу заощаджити кошти міського бюджету.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Бойко В.В.* Проектирование баз данных информационных систем / В.В. Бойко, В.М. Савинков – М.: Финансы и статистика, 1989. – 351 с.
2. *Боровий В.О.* Автоматизовані розробки і програмне забезпечення геоінформаційних технологій і кадастрів / В.О. Боровий // Інженерна геодезія. – 1998. – Вип. 39. – С. 17-21.
3. *ДБН А.2.3. – 1 – 99.* Територіальна діяльність. Основні положення / Держбуд України. – Чинний від 01.01.2000. – К.: Укрархбудінформ, 1999. – 47 с.
4. *Лященко А.А.* Структура і принципи функціонування каталогу та бази метаданих геоінформаційних ресурсів / А.А. Лященко, А.Г. Черін // Інженерна геодезія.-2010. – Вип. 55. – С. 118-127.
5. *Карпінський Ю.О.* Сучасна інфраструктура просторових даних для геоінформаційного забезпечення містобудування/ Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко // Інженерна геодезія. – 2000.– Вип. 44. – С. 126-132.
6. *Суховірський Б.І.* Використання ГІС-технологій в вирішенні завдань територіального управління / Б.І. Суховірський, С.В. Криженко. – Вип. 40. – К., 1999. – С. 164-169.
7. Публикация сайта: [http:// www.albea.rb.ru](http://www.albea.rb.ru).

Надійшла до редакції

14.01.2013

УДК 528

**Л. Папшене**

### **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ГЕНЕРАЛИЗАЦИЯ В ПРОЦЕССЕ ОБНОВЛЕНИЯ БАЗОВЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ МЕЛКОГО МАСШТАБА**

*Освещены основные аспекты и этапы проектирования автоматизированной генерализации в процессе обновления пространственных данных мелкого масштаба, основанные на результатах исследований автоматизированного обновления государственных базовых пространственных данных Литвы в масштабе 1:50000.*

**Ключевые слова:** *пространственные данные, ГИС, генерализация.*

**Постановка проблемы.** Базовые пространственные данные – это абстрактное изображение стабильных природных и антропогенных объектов поверхности Земли.

Они, как правило, сохраняются в различных масштабах. Например, государственные базы пространственных данных Литвы зашифрованы в трех основных масштабах: 1:10000, 1:50000 и 1:250000. Географические информационные системы (ГИС) позволяют использовать эти пространственные данные в различных целях. Они используются не только для подготовки традиционных бумажных, цифровых карт или интерактивных интернеткарт, но и для создания других баз пространственных данных в процессе принятия различных решений в задачах пространственного анализа и т.д. В связи с этим становится чрезвычайно важно всегда использовать новейшие данные, потому что в противном случае принятое решение может быть неправильным и дать плохой результат. Как правило, пространственные данные в крупном масштабе могут быть обновлены после геодезических измерений или во время дешифрирования аэроснимков или космических снимков, а мелкого масштаба – с помощью данных крупного масштаба. Но все же обновление пространственных данных различных масштабов часто делается вручную, поэтому этот процесс требует значительного времени. Например, полное обновление базы пространственных данных масштаба 1:10 000 Литвы по аэрофотоснимкам занимает два года, а потом еще 2-3 года требуется на обновление вручную пространственных данных масштаба 1:50 000. Это означает, что после процесса обновления информация может быть уже устаревшей на 4-5 лет. Таким образом, очень важно найти способы ускорения этого процесса.

Постоянное усовершенствование ГИС и информационных технологий открыло новые возможности развития процесса обновления пространственных данных с помощью технологий, позволяющих использование автоматизированных процедур, в том числе и генерализации. Таким образом, регулярно вручную обновляя пространственные данные лишь в одном, наилучшем масштабе, базы пространственных данных меньшего масштаба можно было бы получить, используя автоматизированную генерализацию.

**Анализ исследований и публикаций.** Генерализация – это процесс отбора объектов и упрощения их деталей в соответствии с масштабом и целью карты [2]. Цифровая картография выделяет три вида генерализации, переходя от реальной ситуации местности до картографической продукции [1; 7].

– Объектная генерализация используется для создания начального абстрактного образа объектов реального мира (например, векторизированные объекты с аэроснимков и космических снимков, также GPS-измерения).

– Процесс модельной генерализации осуществляет контролируемое уменьшение пространственных данных. Этот процесс используется для создания и обновления базы данных в мелком масштабе с использованием данных в крупном масштабе.

– Картографическая генерализация используется для генерализации пространственных данных, чтобы получить картографическую продукцию.

Преимущество методов генерализации пространственных данных было признано уже в XX веке, и в течении нескольких десятилетий были разработаны различные алгоритмы для процесса генерализации. Однако отдельные алгоритмы не разрешали последовательного обновления всей базы данных, которая включает в себя множество объектов, изменение одного или нескольких из них может повлиять на конфигурации других объектов. Таким образом, были проведены несколько соответствующих проектов и исследований для решения этой задачи. Французский национальный

институт географии (*Institut Géographique National*) немало лет посвятил исследованию генерализации. Главной целью проекта *Carto2001* была исследовать обновленные базы данных, используя картографическую генерализацию [10]. Позже результаты автоматизированной генерализации были использованы для создания карты Топо100 в масштабе 1:100000 с помощью набора базовых пространственных данных *BDCarto* в масштабе 1:50000 [3]. Каталонский институт картографии (*Institut Cartogràfic de Catalunya*) разработал процесс для автоматизированной генерализации пространственных данных в масштабе 1:5000 для производства карт в масштабе 1:10 000 и базы пространственных данных в масштабе 1:25 000 [9]. В Дании пространственные данные государственной топографической базовой карты *Top10DK* автоматизировано генерализируют для карты в масштабе 1:50 000 [8]. Турецкий проект *KARTOGEN* был посвящён созданию модели для автоматической подготовки карт в масштабах 1:50 000 и 1:100 000 на основе пространственных данных масштаба 1:25 000 [11]. В проекте *CARGEN* (Италия) разработана модель для автоматизированной картографической генерализации *GeoDBR* (1:5 000) при создании *DB25* (1:25 000) и *DB50* (1:5 0000) [6].

Анализ результатов вышеупомянутых проектов и исследований свидетельствуют о том, что нет единой модели, предназначенной для удовлетворения всех потребностей. Процессы обновления одновременно всей базы пространственных данных были разработаны только для конкретных случаев, потому что такие базы различных стран всё-таки довольно индивидуальны и имеют свои специфические свойства в репрезентации объектов.

**Постановка задачи.** Последние десятилетия исследований генерализации и упомянутые проекты в других странах по автоматизированной генерализации базовых пространственных данных с целью обновления баз данных и карт мелкого масштаба, дали довольно хорошие результаты. Поэтому главными задачами исследований являлись:

– изучение возможностей в процессе обновления государственной базы пространственных данных Литвы в масштабе 1:50000 (*GDR50LT*), использование автоматизированной генерализации аналогических пространственных данных в масштабе 1:10000 (*GDR10LT*);

– создание прототипной модели для обновления *GDR50LT*.

Исследования были проведены на государственном предприятии Литвы „ГИС-Центр“ по заказу Национальной земельной службы при Министерстве сельского хозяйства Литвы в процессе подготовки диссертационной работы на кафедре Геодезии и кадастра Вильнюсского технического университета имени Гедиминаса.

**Изложение основного материала.** Процесс разработки прототипной, или реальной, модели, для обновления пространственных данных, с использованием автоматизированной генерализации должен включить по крайней мере следующие этапы: анализ баз пространственных данных, подготовка концепции генерализации и разработку модели для генерализации пространственных данных.

Как в Литве, так и в других странах базовые пространственные данные, которые должны быть обновлены или используются для обновления, могут иногда отличаться. Например, упомянутые литовские пространственные данные в трёх масштабах, изображают практически те же самые объекты реального мира. Тем не менее основная цель баз немного отличается *GDR10LT*, как правило, используется в качестве базовой

карты или для формирования других наборов базовых или тематических пространственных данных, а *GDR50LT*, в частности, для удовлетворения картографических потребностей (рис. 1).



Рис. 1. Примеры карт, подготовленных с использованием *GDR10LT* и *GDR50LT*

Однако, государственная база пространственных данных в масштабе 1:250 000 (*GDR250LT*) развивается в соответствии с требованиями европейского проекта *EuroRegionalMap*, который такие объекты, как, например, автомобильные и железные дороги, железнодорожные станции, аэропорты и порты, вынужденно соединяет в единую транспортную сеть. От репрезентации объектов в более мелком масштабе зависят отбор операций, а далее – алгоритмов генерализации. Поэтому, важно было проанализировать семантические связи между идентичными объектами в разных масштабах и топологические связи между объектами в том же масштабе [5] (рис. 2).

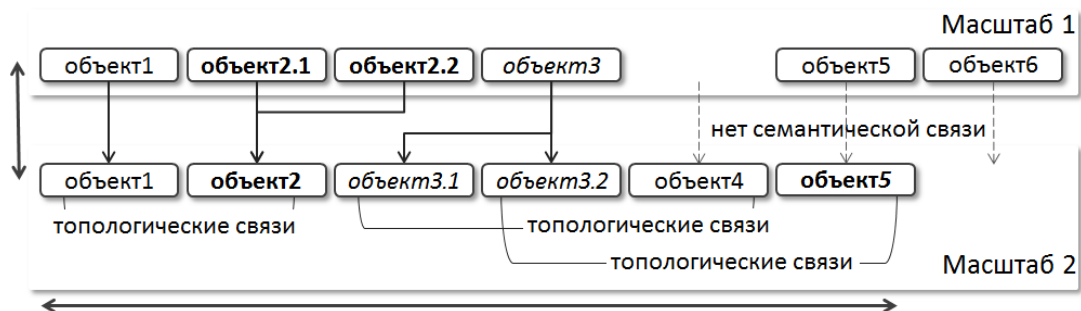


Рис. 2. Типы связи между объектами [6]

Определенные семантические связи показывают, какие объекты крупного масштаба будут использованы для обновления объектов мелкого масштаба. А топологические связи фактически показывают, как объекты должны храниться в отношении друг друга после генерализации. Также очень важно знать геометрический

тип, который используется для изображения объекта в различных масштабах, так как это непосредственно влияет на подбор алгоритмов генерализации. Анализ баз пространственных данных позволяет подготовить концепцию (или концептуальную модель) генерализации и подобрать соответствующие алгоритмы во время проектирования и разработки прототипной модели или реальной модели автоматизированного обновления.

В табл.1 приведены некоторые результаты анализа *GDR10LT* и *GDR50LT* с подбором операций генерализации соответствующей классификации, представленной в литературе [4].

Таблица 1

Некоторые результаты анализа *GDR10LT* и *GDR50LT*

<i>GDR10LT</i>	<i>GDR50LT</i>	Основные правила операций	
		топологии	генерализации
Центральные линии дорог/улиц (линия)	Центральные линии дорог/улиц (линия)	Не может пересекаться друг с другом или пересекать сам себя	<i>Simplification, Collapse, Merging, Classification</i>
Центральные линии автомобильной полосы (линия)			
Центральные линии железнодорожных путей (линия)			
Центральные линии рек, каналов (линия)	Центральные линии рек, каналов (линия)		<i>Simplification, Smooth, Merging, Classification</i>
Леса (полигон)	Территории, заросшие деревьями и кустарниками (полигон)	Не может перекрыть друг друга или перекрыть сам себя	<i>Aggregation, Simplification, (Smooth), Classification</i>
Территории, заросшие деревьями и кустарниками (полигон)			
Сады (полигон)			
Урбанизированные территории (полигон)	Урбанизированные территории (полигон)		
Здание (полигон)	Усадьбы (точка)	Не может перекрыть друг друга	<i>Aggregate, Simplification, Classification</i>
Авиационные препятствия (точка)	Башни (точка)	Не может перекрыть друг друга	<i>Classification</i>
Геодезические пункты (точка)	Геодезические пункты (точка)		
Географические название (точка)	Географические название (точка)		

Результаты анализа пространственных данных *GDR10LT* и *GDR50LT* свидетельствуют о том, что в некоторых случаях в процессе обновления могут быть использованы обновленные объекты *GDR50LT*. Например, такие генерализованные объекты, как центральные линии дорог, железных дорог и рек могут быть использованы для создания точек, представляющих места мостов, на пересечениях упомянутых объектов. Генерализованные объекты могут дополнительно быть использованы в качестве вспомогательных объектов во время обновления других.



Например, важно использовать те же самые ранее упомянутые генерализированные центральные линии для привязки границ территорий лесов, урбанизированных и других территорий. То есть граница территории должна совпадать с центральной линией, если она находится ближе, чем минимально допустимое расстояние между объектами. Значит, центральные линии должны быть генерализованы раньше территорий. С другой стороны, если есть установленная максимальная концентрация генерализированных объектов в различных территориях, это тоже влияет на процесс генерализации. Например, концентрация дорог на урбанизированной территории должна быть больше, чем на других территориях. Поэтому после генерализации дорог, а позже и урбанизированных территорий, дополнительно необходимо вернуться к объектам дорог с целью исключения избыточных объектов вне урбанизированной территории. Таким образом, очень важно определить правильный порядок процессов генерализации различных объектов, чтобы получить результаты, соответствующие ожидаемым. В табл. 2 отражен порядок обновления главных объектов *GDR50LT*.

Таблица 2

**Порядок обновления главных объектов *GDR50LT***

№ процесса	<i>GDR50LT</i>	Замечание
1	Башни	Процессы могут проходить параллельно друг другу
2	Геодезические пункты	
3	Центральные линии магистральных электрических сетей	
4	Центральные линии магистральных газопроводов	
5	Центральные линии магистральных нефтепроводов	
6	Центральные линии автомобильных дорог	
7	Центральные линии железных дорог	
8	Центральные линии рек, каналов	
9	Мосты и тоннели	
10	Озера, территории, заросшие деревьями и кустарниками, сады, урбанизированные и другие территории	
11	Центральные линии автомобильных дорог	Дополнительная генерализация с целью исключения избыточных объектов. В процессе обязательно надо использовать результат 10-го процесса
12	Усадьбы	В процессе обязательно надо использовать результат 10 процесса

Проектирование и разработка моделей генерализации пространственных данных зависит от выбранного программного обеспечения (пакета). В исследованиях возможностей генерализации пространственных данных во время обновления *GDR50LT* был использован *ArcGIS*, который имеет удобную аппликацию для разработки моделей. Подобрана версия 10.2, имеющая больший диапазон алгоритмов генерализации, чем предыдущие версии *ArcGIS*.

Количество используемых *ArcGIS*-алгоритмов и операций зависит от сложности пространственных данных. Чаще всего генерализация точечных объектов (таких как геодезические пункты или башни) включает только отбор (*Select*) для элиминирования ненужных объектов. В то же время генерализация элементарных линейных объектов (например, центральной линии магистрального нефтепровода) дополнительно должна включать упрощение (*Simplification*) конфигурации. Но генерализация таких объектов, как центральные линии автомобильных или железных дорог, гидрографии, почвенно-растительного покрова, очень сложная задача. В этих случаях, автоматизированный процесс генерализации должен включать в определенной строгой последовательности множество различных стандартных алгоритмов генерализации, дополнительные операции и специально разработанные процессы (табл.3).

Таблица 3

#### Главные рекомендации для процесса генерализации некоторых объектов

<i>GDR50LT</i>	Рекомендуемые шаги	Функции <i>ArcGIS</i>
Центральные линии дорог/улиц	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Удаление коротких линейных объектов, начальные или конечные узлы которых не соединены с начальным или конечным узлом другого линейного объекта</li> <li>2. Назначение иерархии каждому линейному объекту</li> <li>3. Удаление избыточных линейных объектов на урбанизированных территориях, с использованием значения иерархии</li> <li>4. Разделение линейных объектов, используя вершины линий и объединения параллельных линейных объектов в центральные линии.</li> <li>5. Удаление избыточных линейных объектов на неурбанизированных территориях, с использованием значения иерархии</li> <li>6. Упрощение элементов/деталей линейных объектов</li> <li>7. Агрегация линейных объектов, имеющих те же самые атрибуты</li> <li>8. Упрощение линейных объектов</li> <li>9. Создание геометрической сети</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>(1) Используется специальный алгоритм, разработанный во время исследований,</li> <li>(2) <i>Select by Attribute</i>,</li> <li><i>Select by Location</i>,</li> <li><i>Calculate Field</i>,</li> <li>(3) <i>Thin road network</i>,</li> <li>(4) <i>Split lines at Vertices</i>,</li> <li><i>Merge divided roads</i>,</li> <li>(5) <i>Thin road network</i>,</li> <li>(6) <i>Collapse Road Detail</i>,</li> <li>(7) <i>Dissolve</i>,</li> <li>(8) <i>Simplify Line</i>,</li> <li>(9) <i>Create Geometric Network</i></li> </ol>

<p>Центральные линии железных дорог</p>	<p>1. Назначение иерархии каждому линейному объекту                  2. Разделение линейных объектов, с использованием вершин линий и объединенных параллельных линейных объектов в центральные линии                  3. Удаление коротких линейных объектов, начальные или конечные узлы которых не соединены с начальным или конечным узлом другого линейного объекта                  4. Удаление линейных объектов с меньшими значениями иерархии, которые попадают на территории между линейными объектами с более высоким значением иерархии и имеют общие начальные или конечные узлы с ними                  5. Агрегация линейных объектов, имеющих те же самые атрибуты                  8. Упрощение линейных объектов                  9. Создание геометрической сети</p>	<p>(1) <i>Select by Attribute, Select by Location, Calculate Field,</i>                  (2) <i>Split lines at Vertices, Merge Divided Roads,</i>                  (3,4) используется специальный алгоритм, разработанный во время исследований,                  (5) <i>Dissolve,</i>                  (6) <i>Simplify Line,</i>                  (7) <i>Create Geometric Network</i></p>
<p>Центральные линии рек, каналов</p>	<p>1. Назначение иерархии каждому линейному объекту                  2. Удаление коротких линейных объектов, начальные или конечные узлы которых не соединены с начальным или конечным узлом другого линейного объекта                  3. Удаление линейных объектов, изображающих староречье                  4. Упрощение и закругление линейных объектов</p>	<p>(1) <i>Select by Attribute, Select by Location, Calculate Field,</i>                  (2,3) используется специальный алгоритм, разработанный во время исследований,                  (4) <i>Simplify Line, Smooth Line</i></p>
<p>Озёра, территории почвенно-растительного покрова, урбанизированные территории и др.</p>	<p>1. Полигоны, имеющие важные атрибуты, которые не должны быть потеряны во время генерализации (например, название объекта), упрощаются до точечных объектов                  2. Экспорт объектов в различные слои согласно тому, какие объекты реального мира они изображают (объекты гидрографии, урбанизированной территории, территории почвенно-растительного покрова)                  3. Агрегирование соседних объектов (полигонов) в каждом слое, полученным во время шага 2                  4. Упрощение конфигурации полигонов                  5. Присвоение важных атрибутов объектам (полигонам), используя атрибуты точечных объектов, полученных во время шага 1                  6. Агрегация полигонов, имеющих те же самые атрибуты.                  7. Вынужденное добавление дополнительных вершин полигонам и их привязка (кроме гидрографических объектов) к генерализованным линейным объектам, изображающим автомобильные и железные дороги, гидрографию (реки)                  8. Слияние маленьких полигонов с соседними полигонами</p>	<p>(1) <i>Feature to Point,</i>                  (2) <i>Feature Class to Feature Class,</i>                  (3) <i>Aggregate Polygons,</i>                  (4) <i>Simplify Polygons/ Simplify Buildings,</i>                  (5) <i>Spatial Join,</i>                  (6) <i>Dissolve,</i>                  (7) <i>Densify, Snap,</i>                  (8) <i>Eliminate</i></p>

Каждая база пространственных данных состоит из различных слоев (класс объектов). Поэтому для оптимизации процесса генерализации всего набора базовых пространственных данных рекомендуется создать отдельные модели для каждого слоя или даже типа объектов (например, отдельная генерализация застроенных территорий) или отдельного процесса (например, генерализация железнодорожных путей на территории железнодорожной станции). Таким образом, их легче модифицировать, изменять параметры, использовать циклические обработки или интегрировать их в другие модели.

Результаты, полученные во время тестирования алгоритмов генерализации и подготовленных прототипных моделей для обновления слоёв *GDR50LT*, свидетельствуют, что результат автоматизированной генерализации также может зависеть от:

- качество генерализируемых данных, то есть исходные данные должны быть топологически корректны (например, не должны пересекать или перекрывать других объектов или самих себя), немногочисленные, без элементов „arc“, „curve“, а также должна быть введена вся необходимая атрибутивная информация;
- специфика пространственных данных на различных территориях.

**Выводы.** Как показали результаты проведенных исследований, автоматизированная генерализация может успешно применяться в процессе обновления *GDR50LT* и ей подобных баз пространственных данных.

В базах пространственных данных, которые используются для генерализации, и в обновляемых базах, должны храниться фактически те же самые объекты.

Результат, полученный с применением автоматизированной генерализации, может не совсем соответствовать ожиданиям традиционной картографической генерализации. Это случается потому, что процесс автоматизированной генерализации используют алгоритмы, строго подобранные правила, и параметры соответствующие требованиям для пространственных данных, так как ручная генерализация основана на личном опыте картографа, когда визуально оценивается приемлемость и эстетика результата, "нарушая" требования для данных и приводная субъективность в результат.

Реализация генерализации может быть довольно успешна, с использованием функциональности *ArcGIS 10.2* программного пакета. Но в целях достижения корректных результатов генерализации, подготовленные прототипные модели должны быть протестированы с использованием пространственных данных всей территории или хотя бы различных областей (например, холмистые, равнинные, заселенные и другие территории).

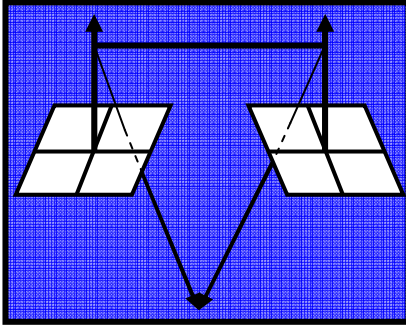
Представленные принципы автоматизированного обновления пространственных данных охватывают генерализацию всей базы данных.

Генерализация баз пространственных данных является очень сложным и комплексным процессом, который требует технологического обеспечения с очень высокими параметрами быстродействия.

Полученные результаты исследований будут использованы в дальнейшей разработке реальной модели автоматизированного обновления *GDR50LT*, а основные аспекты, представленные в статье, могут быть использованы в разработке аналогичных процессов обновления других пространственных данных.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРЫ

1. *Grünreich D.* 1985. Computer-Assisted Generalisation, in Papers CERCO Cartography Course / D. Grünreich. Institut für Angewandte Geodäsie., – Frankfurt: a. M., 1985.
2. *ICA – International Cartographic Association: Multilingual Dictionary of Technical Terms in Cartography.* Wiesbaden, F. Steiner, 1973. – 573 p.
3. *Jahard Y.* The implementation of new technology to automate map generalisation and incremental updating processes / Y.Jahard, C.Lemarié, F.Lecordix // Proc. of the 21st International Cartographic Conference, Durbanm South Africa, 2003. – P.1449-1489.
4. *MacMaster R. B.* Generalization in Digital Cartography / R. B.MacMaster, K. S. Shea. – American Association of Geographers, 1992.
5. *Papsiene L.* Challenges of automated processes of updates of reference spatial data at a scale of 1:50,000 in Lithuania/ L.Papsiene // Proc. of 13th SGEM GeoConference on Informatics, Geoinformatics And Remote Sensing, Albena, Bulgaria, 2013. – Vol. 1. – P. 661-668.
6. *Savino S. A.* solution to the problem of the generalization of the Italian geographical databases from large to medium scale: approach definition, process design and operators implementation. PhD Thesis / S. A. Savino. – Universita’ Di Padova, 2011. – P. 139.
7. *Weibel R.* Generalising Spatial Data and Dealing with Multiple Representations, in P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire, D. W. Rhind (editors) / R. Weibel; G.Dutton. Geographic Information Systems: Principles and Technical Issues, volume 1, – p.125-155. Wiley, New York, 2nd edition.
8. *West-Nielsen P.; Meyer M.* Automated generalisation in a map production environment – the KMS experience, in Mackaness W. A., Anne Ruas A., Sarjakoski L. T. (Editors), Generalisation of geographic information: Cartographic modelling and applications. Elsevier Science, 2007. – P. 301-314.
9. *Baella B.; Pla M.* 2005. Reorganizing the Topographic Databases of the Institut Cartogràfic de Catalunya applying generalization, in 8th ICA Workshop on Generalization and Multiple Representation, A Coruña, Spain, 2005. [Електрний режим доступу]: [http://www.icc.es/index.php/cat/content/download/3582/11634/file/reorganizing\\_topographic\\_databases\\_icc.pdf](http://www.icc.es/index.php/cat/content/download/3582/11634/file/reorganizing_topographic_databases_icc.pdf). – Названня с екрана.
10. *Lecordix F.; Jahard Y.; Lemarié C.; Hauboin,E.* 2005. The end of Carto2001 Project TOP100 based on BD Carto® database, in 8th ICA Workshop on Generalization and Multiple Representation, A Coruña, Spain, 2005. [Електрний режим доступу]: [http://generalisation.icaci.org/images/files/workshop/workshop2005/Lecordix\\_Jahard\\_et\\_al\\_.pdf](http://generalisation.icaci.org/images/files/workshop/workshop2005/Lecordix_Jahard_et_al_.pdf). – Названня с екрана.
11. *Simav O.; Aslan S.; Cetinkaya B.; Cobankaya O. N.* 2010. Implementation of Comprehensive Modeling Techniques on KARTOGEN Generalization Software, in 13th ICA Workshop on Generalisation and Multiple Representation, Zurich, Switzerland, 2010. [Електрний режим доступу]: [http://www.icc.es/index.php/cat/content/download/3582/11634/file/reorganizing\\_topographic\\_databases\\_icc.pdf](http://www.icc.es/index.php/cat/content/download/3582/11634/file/reorganizing_topographic_databases_icc.pdf)-  
[http://www.hgk.msb.gov.tr/haritalar\\_projeler/bildiriler/kartografya/makale%28pdf%29/karto\\_tek\\_bil9.pdf](http://www.hgk.msb.gov.tr/haritalar_projeler/bildiriler/kartografya/makale%28pdf%29/karto_tek_bil9.pdf). – Названня с екрана.



## ФОТОГРАММЕТРІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

УДК 528.7

**В.О. Катусков,  
Б.І. Денисюк**

### ТЕХНОЛОГІЯ НАЗЕМНОГО ЗНІМАННЯ ДЛЯ СКЛАДАННЯ ФРОНТАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ КРУПНИХ МАСШТАБІВ

*Розглянуто технологію наземного фотограмметричного знімання для отримання фронтальних великомасштабних векторних планів на забудованих міських територіях. Виявлено можливість використання неметричних цифрових камер з малими розмірами сенсорів та фокусних відстаней об'єктивів.*

***Ключові слова:** технологія наземного знімання, масштаби знімання, фронтальні плани, цифрові камери.*

**Вступ.** Під час збирання фронтальної інформації про будівельні споруди потрібно виконати комплекс польових і камеральних робіт. Польова частина робіт складається з ознайомлення з місцевістю, планування знімального процесу, фотографічного знімання, виконання геодезичної прив'язки. Знімання проводять не в масштабі фронтального плану, а в зменшеному, що сприяє зменшенню кількості моделей, отже і зниженню собівартості виконаних робіт. Камеральна частина комплексу означає також обробку відзнятої інформації на сучасному комп'ютерному обладнанні. У розглянутому випадку обробку растрових знімків виконано на цифровій фотограмметричній станції (ЦФС) "Дельта" Вінницької фірми «ГЕОСИСТЕМА».

**Аналіз останніх досліджень.** У попередніх традиційних технологіях знімання застосовували широкоформатні плівки або скляні фотопластини, які використовували на метричних знімальних камерах – фототеодолітах. Виконано знімання з діапазоном масштабів 1:50 – 1:200. Вибраний масштаб знімання залежить від точності складання графічної векторної інформації (фронтальних планів, перерізів, профілів, координат характерних точок конструкції). Після заміни аналогової технології знімання й оброблення на цифрову отримання великомасштабних векторних фронтальних планів залишається актуальним завданням.

**Постановка завдання.** Метою роботи є вдосконалення технології наземного знімання з використанням растрових знімків цифрових неметричних камер для отримання точних великомасштабних фронтальних планів.

© В.О. Катусков, Б.І. Денисюк, 2014

**Виклад основного матеріалу.** Знаменник масштабу знімання за відстані до середньої проекційної площини  $Y_{\text{сер}}$  розраховують за формулою

$$m = \frac{Y_{\text{сер}}}{f}, \quad (1)$$

де  $m$  – масштаб знімання;  $f$  – фокусна відстань знімальної камери.

Зважаючи на підвищену точність оброблення знімального матеріалу на цифровій фотограмметричній станції (ЦФС), масштаб знімання можна зменшити до значення, за якого утримується дозвільна точність фронтальних планів з найменшою кількістю знімків. Пропонується такий діапазон знаменників знімальних масштабів:

$$m = \frac{Y_{\text{сер}}}{nf} = \frac{Y_{\text{сер}}}{(3 \div 10)f}. \quad (2)$$

Відомо, що точність не повинна перевищувати значення 0,1 – 0,4 мм в масштабі плану. Оскільки фронтальні плани будуються на площині, з осями  $X, Z$ , то похибки координати точок об'єкта не повинні перевищувати теоретичної величини, що визначається нерівністю

$$m_{x,z} \leq 0,1 \text{ мм}, \quad (3)$$

на плані, місцевості, чи досліджуваного об'єкта

$$M_{x,z} \leq 0,0001 \cdot m_{x,z} (\text{м}), \quad (4)$$

де  $M$  – знаменник масштабу фронтального плану. Наприклад, за масштабу фронтального плану 1:50 похибка розрахунку координат повинна бути не більш, як 0,005 м, або 5 мм, але практично допускається реальна величина 0,3 – 0,4 мм від масштабу плану.

Похибки просторових координат залежать від ряду причин, основною з яких є довжина базису зйомки, яка обчислюється за формулою

$$B_{\text{сер}} = \frac{Y_{\text{сер}} m_p}{f m_y}, \quad (5)$$

де  $m_p$  – похибка вимірювання поздовжнього паралакса;  $m_y$  – похибка у визначенні координати  $Y$  як найгіршої за точністю координати.

Аналізуючи взаємні зв'язки похибок  $m_x, m_y, m_z$ , визначимо, що похибка  $m_y$  залежить від похибок  $m_x, m_z$ :

$$m_y = m_x / k_x = m_z / k_z, \quad (6)$$

де коефіцієнти  $k_x, k_z$  залежать від співвідношення розмірів кадру та величини фокусної відстані  $k_x = x / f, k_z = z / f$ . Зважаючи на це, формулу (5) виражаємо інакше, замінюючи  $m_y$  на  $m_x, m_z$ :

$$B_{\text{сер}} = \frac{Y_{\text{сер}} m_p x}{f^2 m_x} = \frac{Y_{\text{сер}} m_p z}{f^2 m_z}. \quad (7)$$

Одержану довжину базису можна збільшити в два-три рази, що відповідно зменшить похибку розрахунку координат точок об'єкта. Це дасть змогу використати знімки для згущення ряду контрольних точок, потрібних для подальшої обробки матеріалів знімання.

З огляду на велику різницю у масштабах ближнього та дальнього планів за наземного знімання до визначення базису можна підійти, зважаючи на різні відстані  $Y_{\max}$ ,  $Y_{\min}$ . Розрахунок базису та відстані виконують за умови дотримання допустимої точності в  $m_y$ , оскільки вона має більшу похибку, ніж координати  $X$ ,  $Z$ . Вихідною формулою для визначення базису  $B_{\min}$  та відстані  $Y_{\max}$  служить формула попереднього розрахунку середньої квадратичної помилки визначення відстані

$$m_Y = Y_{\max}^2 m_p / (Bf). \quad (8)$$

У наведеній формулі два вихідних параметри –  $Y$  та  $B$ , тому задача має множину рішень.

Беручи до уваги допустиму помилку в положенні контуру на плані  $\delta_{\text{пл}}$ , запишемо

$$\delta_{\text{пл}} = m_Y / M_{\text{пл}} = Y_{\max}^2 m_p / (M_{\text{пл}} B_{\min}) = m Y_{\max} m_p / (M_{\text{пл}} B_{\min}) = R Y_{\max} m_p / B_{\min}, \quad (9)$$

де  $m_Y = Y_{\max} / f$  – знаменник масштабу знімання дальнього плану на знімку;  $R$  – коефіцієнт збільшення масштабу знімання дальнього плану до масштабу фронтального (векторного, графічного) плану.

Зі співвідношення  $R = m / M_{\text{пл}} = Y_{\max} / (fM_{\text{пл}})$  отримуємо розрахункову формулу для визначення відстані

$$Y_{\max} = fM_{\text{пл}} R. \quad (10)$$

За  $\delta_{\text{пл}} = 400 \mu\text{м} = 0,4 \text{ мм}$ ,  $m_p = 10 \mu\text{м} = 0,01 \text{ мм}$  відповідно до виразу (9) отримаємо робочу формулу

$$Y_{\max} = 40 B_{\min} / R, \quad (11)$$

звідки

$$B_{\min} = Y_{\max} R / 40, \quad (12)$$

або, зважаючи на формулу (10),

$$B_{\min} = fM_{\text{пл}} R^2 / 40 = Y_{\max}^2 / (40 fM_{\text{пл}}). \quad (13)$$

Формули (10) – (13) дають змогу за відомого базису розраховувати найбільшу відстань  $Y_{\max}$ , чи навпаки, за заданого  $Y_{\max}$  визначити  $B_{\min}$ .

Мінімальне значення базису  $Y_{\min} \approx 4B$  обмежене можливістю отримати стереоскопічний ефект на ближньому плані.

Під час стереофотограмметричної зйомки споруд виникає потреба вишукувати оптимальну величину поздовжнього паралакса і відстань, яка дасть можливість дотримати заданої точності визначення координат за найбільшого просування робіт. Оптимальний поздовжній паралакс [1] можна дістати на підставі рівняння (8):

$$m_Y = Y_{\max}^2 m_p / (Bf) = \bar{X} y m_p / x B = \bar{X} f m_p / x p = \bar{X} f m_p / (l - p) p, \quad (14)$$

де  $\bar{X}$  – протяжність частини зображення споруди, в натурі;  $x$  – відповідна протяжність споруди на знімку;  $l$  розмір кадру камери вздовж осі  $x$ .

Диференціюючи функцію (14) за  $dp$  й аналізуючи результат, дійдемо висновку, що мінімальне значення похибки визначення відстані за заданої  $X$  буде, якщо  $2p - l = 0$ . Оптимальне значення поздовжнього паралакса дорівнюватиме



$$p_{\text{опт}} = 0,5l = x_{\text{max}}. \quad (15)$$

Отже, оптимальною величиною поздовжнього паралакса під час знімання споруд слід вважати поздовжній паралакс, що дорівнює половині розміру кадру камери на осі  $x$  або максимальному значенню абсциси на знімку. За вибраного оптимального значення поздовжнього паралакса  $p_{\text{опт}}$  гранична відстань  $Y_{\text{max}}$ , що забезпечує отримання заданої точності за максимального просування робіт, становить

$$Y_{\text{max}} = \frac{m\gamma}{m_p} p_{\text{опт}}. \quad (16)$$

Значення базису знімання знайдемо аналогічно відношенню  $Y = B \frac{f}{p}$ :

$$B_{\text{опт}} = \frac{Y_{\text{max}}}{f} p_{\text{опт}} = \frac{p_{\text{опт}} m \gamma}{f m_p} = \frac{Y_{\text{max}}}{f} x_{\text{max}} = m \cdot x_{\text{max}} = \bar{X}_{\text{max}}. \quad (17)$$

Співвідношення  $Y_{\text{max}}$  та  $B_{\text{опт}}$  зручно задавати за коефіцієнтом, за відомих параметрів знімальної камери. У разі використання фотоплівкової неметричної камери ІФ45/0606 з  $f = 45$  мм та  $l = 60$  мм оптимальний базис дорівнюватиме  $B_{\text{опт}} = 0,7Y_{\text{max}}$ .

Наземне знімання можна виконувати, застосовуючи геодезичне орієнтування, знімаючи зі штативів (нормальний метод) або без використання геодезичного обладнання і штативів (загальний метод).

Відповідно до обох методів бази фотографування слід цілодобово орієнтувати паралельно основним (фронтальним) проектувальним площинам об'єкта (стінам). Таке розміщення базисів і фотостанцій сприяє найбільшій точності за найменшою кількістю фотостанцій і знімків. На рис. 1 показано чотири створні напрями  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  із співвідносною кількістю знімків 2, 5, 6, 7. Напрямок  $a$  є найпростішим: з двох ширококутних знімків складено просторову модель торця споруди.

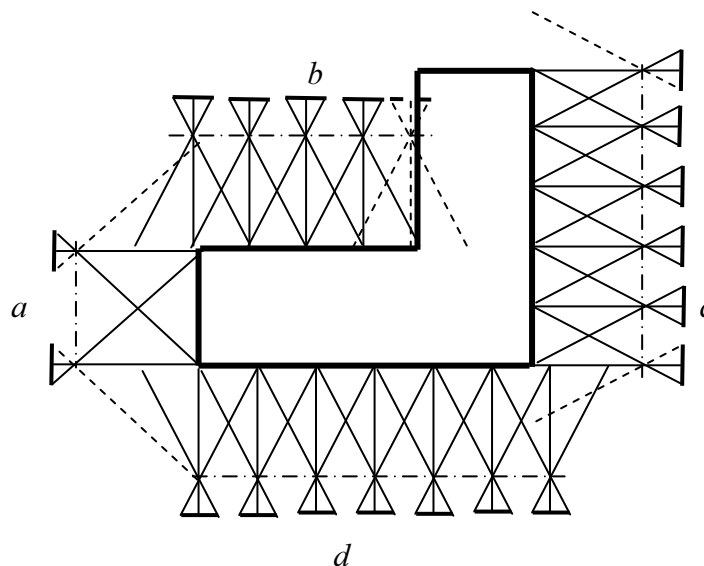


Рис. 1. Розміщення базисів і станцій знімання навколо знімального об'єкта

Якщо з одного базису знімання всієї поверхні виконати неможливо, то її поділяють лінії створу ( $b, c, d$ ), на яких через розрахункове значення довжини базису послідовно встановлюють знімальні камери.

Просторова модель будується на перекритті, яке становить 55-60%. Бокові промені крайніх знімків, які не містять інформації про знімальну поверхню, показані штрихами. На створному напрямку  $b$  штрихами відображений знімок, який не збігається з проектним розміщенням. Це виникає тому, що на прилеглий (боковий) стіні не можна розміщувати знімальну станцію. При цьому станцію встановлюємо, дещо не доходячи до прилеглої стіни. Базис знімання у такому разі буде скорочений, тобто меншим за розрахунковий. Але слід звернути увагу на те, що базис можна скоротити на дозвільну величину, за якої не порушується точність фронтального плану.

Знімаючи високі споруди, слід розраховувати значення відстані, за якої можливе охоплення поверхні за висотою:

$$Y = \frac{Z_{\max}}{z_{\max}} f, \quad (18)$$

де  $Z_{\max}$  – висота споруди відносно камери;  $z_{\max}$  – максимальне значення аплікати на знімку.

Якщо в природі відстань  $Y$  менша за розрахункове (17) значення  $Y_{\max}$ , то знімання слід виконувати або з більш високих точок, або за нахиленої оптичної осі фотокамери. Варіант з нахиленим напрямом основного променя є гіршим, оскільки на нахилених знімках ускладнюється процес стереоскопічних спостережень та виникають «мертві» зони.

Застосовуючи загальний метод знімання, можна значно скоротити час робіт завдяки наближеному орієнтуванню знімальної камери, тобто виконувати знімання без використання штативів та оптичних приладів для орієнтування. Крім того, за однієї точки стояння можна застосовувати метод, запропонований професором М.Н. Русиновим, коли стереомодель виникає під різними напрямками основних променів (кути  $\alpha < 7^\circ$ ), або збирати інформацію складанням квазізнімків [2], утворених з ряду окремих знімків з малим площинним охопленням фронтальної поверхні.

У межах однієї моделі (стереопари, стереопар) має бути намічено не менш як чотири опорні точки – опознаки, розміщені на зовнішніх кутах знімальної поверхні. Координування опознаків виконують в різний спосіб – геодезичний, фотограмметричний.

У разі геодезичного способу використовують прямі та зворотні кутові, лінійні засічки, технічне нівелювання нижніх опознаків та лінійні проміри до верхніх опознаків. Зручно використовувати тахеометричне визначення опознаків. Візування виконують за допомогою трипельпризм, відбивних марок або на відбивному промені. Для знімання забудованих територій на кафедрі ГіФ розроблено спеціальні методи: вільних станцій, контрольного вектора, переносного жезла, загального випадку знімання [3].

Фотограмметричне згущення опорних точок виконують за допомогою наземної фототріангуляції. Спільна кількість опознаків, контрольних, головних, зв'язкових точок на окрему модель різна, що залежить від знімальної апаратури. Якщо знімальна апаратура метрична, досить чотирьох точок, якщо неметрична – треба визначати 10-12

точок, що не важко зробити, використовуючи сучасну технологію оброблення матеріалу на ЦФС. Опозначки слід маркувати, що сприяє підвищенню точності не тільки фотограмметричних, а й геодезичних робіт для визначеності їх координат. Маркувальні знаки зручно виготовляти на щільному папері і закріплювати на споруді. Форми маркувального знака (марки) можуть бути різними (хрест, коло, ромб, трикутник, прямокутник тощо). Тональність чи колір марки залежить від кольору фонові поверхні. Наприклад, на світлу поверхню закріплюють темну марку, а на темну поверхню – світлу. Розмір марки  $S$  потрібно обирати таким, щоби дешифрування на зображенні знімка можна було виконати без її збільшення додатковою оптикою. Обчислюють розмір марки залежністю  $S_{\min} = 0,05m$ .

Виконавши попередній розрахунок довжини базису фотографування, розпочинаємо польові роботи, зважаючи на апаратуру для знімання. До недавнього часу знімання у будівельних вишукуваннях або реставраційних зніманнях виконували за допомогою метричних приладів – фототеодолітів (РНТНЕО1318, УМС1818, СМК0808). Матеріал знімання оброблювали такими аналоговими приладами, як СПР, СД, стереоавтограф, технократ, топокарт та ін.

Тепер таке обладнання на виробництві не використовують, оскільки змінилися і технологія знімання, і технологія оброблення. Знімання виконують цифровими камерами, переважно неметричними, хоча за кордоном застосовують метричні цифрові камери та наземні (лазерні) сканери. Процес технології знімання та попереднього розрахунку в основному не змінився, що пов'язане з отриманням орієнтованих базисів та знімків відносно оброблюваної поверхні. Орієнтовані до  $3^\circ$  знімки з 55-відсотковим перекриттям  $P$  для окремої моделі дасть змогу будувати стереоскопічні (просторові) моделі, що потрібно для оптимального збирання векторного матеріалу.

Оброблення матеріалу на ЦФС дає можливість застосовувати відомий, але невикористований загальний випадок знімання. У такому разі кути Ейлера – відхилення у напрямках головного променя  $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$  – не дорівнюють нулю.

Застосовуючи цифрову неметричну камеру (замість фототеодоліта чи лазерного сканера), можна скористатися удосконаленою та спрощеною системою опрацювання, що складається з таких етапів:

1. Умовний поділ базисного створу вздовж знімальної поверхні;
2. Перспективне орієнтування камери без використання штатива;
3. Процес знімання з фіксацією у пам'яті межі попередніх кадрів на об'єкті;
4. Перехід на наступну точку знімання;
5. Перспективне орієнтування камери на другій точці;
6. Процес знімання аналогічно до п. 3.

Додамо, що перспективний метод орієнтування камери [3] був запропонований професором В.М. Сердюковим.

Досвід робіт свідчить, що загальний випадок знімання потребує порівняно з традиційним методом, на малих об'ємах, у чотири рази менше часу. Чим більший обсяг робіт, тим вони менш тривалі.

Застосування технологій оброблення матеріалу на цифрових фотограмметричних станціях за загальним методом знімання дає змогу обробляти знімки з більшими кутами нахилу ( $10^\circ - 15^\circ$ ), під час дійсних чи умовних

стереоскопічних спостережень (подвійне монокулярне спостереження) та необмежених під час блочних спостережень з обробкою за аналітичним методом на ЦФС типу «Дельта», РНОТНЕО за допомогою прикладних програмних пакетів «Modeler», «Vzaor», «Foto».

Знімаючи дзеркальною (фотоплівковою), чи цифровою (сенсорною) камерою за загальним методом, орієнтування головного променя виконують таким чином:

- до мінімуму приводять кут розвороту камери  $\alpha$ , аналізуючи перспективне зображення споруди відносно рамкового вікна або приводячи горизонтальну трапецію до прямокутника з розворотом камери навколо умовної прямовисної осі;
- аналогічно виконують розворот на кут нахилу  $\omega$  розворотом камери навколо горизонтальної осі;
- останнім виконують розворот за кутом  $\kappa$  або розворотом камери навколо головного променя.

При цьому слід стабільно утримувати попередній розворот камери. Після трьох послідовних розворотів на кути  $\alpha$ ,  $\omega$ ,  $\kappa$  виконують процес знімання, натискаючи на кнопку затвора. Так без додаткових орієнтирних пристроїв та штативів орієнтують цифрові камери.

Зображення поверхні з орієнтуванням камери «на око» не завжди дає змогу отримати традиційну зорову стереоскопічну модель й ускладнює обробку матеріалу на цифровій станції. Ускладнення виникає за наявності поздовжнього паралаксу на однакої відстані, унаслідок неточного орієнтування базису та знімальних камер між собою. При цьому замість стереоскопічного наведення та спостереження, виконують подвійне наведення на лівому та правому знімках на однакові точки (контури) моделі. Незважаючи на ускладнення, технологія обробки загального методу придатна для складання прямовисних фронтальних моделей на недоступних, місцях багатоповерхових будівельних споруд.

Для використання цифрових камер послуговуємося параметрами, які дають можливість виконати проектування технології наземного знімання. Якщо на «мільницях» та напівпрофесійних камерах фірм **Sigma**, **Fujifilm**, **Canon** розміри сторін сенсорів подані у міліметрах, проблеми не виникають. Але для малих сенсорів розміри ( $1/n''$ ) та фокусні відстані надані в еквівалентних величинах, заважає виконувати проектні та інші розрахунки, тому що їх надано у невідомих неметричних одиницях, як у першому рядку табл. 1.

Таблиця 1

### Характеристики цифрових камер

Тип матриці ПЗЗ розмір екв, мм	Матриця $m \cdot n$ пікс, обсяг, Мпік	Формат запису	Фокус, мм, діафр $f/d$	Кут огляду $2\beta$
Fujifilm Fint PIX x 5700 CCD 1/3,6"	3072×2304 7,4	J,R,M-J,W	38-380 f/3,5	47,8°
Fujifilm Fine PIX S5PRO CCD 23,5 x 15,7	4256×2848 12,3	J, R	дз.	-
Canon EOS 5D CMOS 36 x 24	4368×2912 13,3	J, R, R+J	дз.	-
Hasselblad H3DII CCD 36,7 x 49	4080×5440 30	R	дз., 28 мм f/4	83,5°

Для проектування спочатку треба з'ясувати розміри сторін сенсора (знімального кадру), довжину фокусної відстані, роздільну здатність.

Для усунення проблеми еквівалентних вихідних даних, у табл. 2 подано співвідносні метричні величини сторін конкретних сенсорів усього виготовленого ряду.

Коефіцієнт переведення  $K$  є відношенням еквівалентного фокуса об'єктива цифрової камери до значення дійсного фокуса у міліметрах. Для розрахунку треба брати сторону матриці та фокусну відстань, перераховану за допомогою коефіцієнта  $K$ .

Таблиця 2

**Еквівалентні одиниці сенсорів у метричних розмірах**

Специфікація еквівалента	$K=f_{\text{екв}}/f$	Розміри, мм		Пляма розсіювання, $\mu\text{м}$
		довжина	ширина	
1	2	3	4	5
1/3,6"	8,64	4	3	2,9
1/3,2"	7,68	4,54	3,42	3,3
1/3"	7,2	4,80	3,60	3,5
1/2,7"	6,5	5,27	3,96	3,9
1/2"	5,4	6,40	4,80	4,6
1/1,8"	4,84	7,18	5,32	5,2
2/3"	3,93	8,80	6,60	6,4
1"	-	12,80	9,60	9,2
4/3"	-	18,00	13,50	13,0

Наприклад, у процесі використання цифрових камер з малими розмірами сенсорів та співвідносно малими фокусними відстанями виникають менші масштаби знімання в режимі фокусування, ніж гіперфокальні відстані без коефіцієнта збільшення ( $\text{zoom} = 1$ ). В об'єктивах цифрових звичайних та дзеркальних камер застосовано принцип наближення до знімального об'єкта за зміни фокусної відстані у великих діапазонах, коли збільшується коефіцієнт  $\text{zoom}$ . Загальна величина збільшення залежить від оптичного  $\text{zoom}$  та сягає величин 15-20 крат. Тобто, фокусна відстань об'єктива цифрової камери збільшується від 15 до 20 разів, що дає можливість аналогічно збільшувати масштаби знімання. Наведемо приклад попереднього розрахунку точності для наведених сенсорів найменшого та найбільшого розмірів.

Під час використання цифрової камери з найменшим сенсором 1/3,6" довжина його сторін – 3 x 4 мм. Змінна фокусна відстань об'єктива в еквівалентній формі – 28 – 84 мм (див. табл. 1) насправді дорівнює 3,2 – 9,7 мм за  $\text{zoom}$  від 1 до 3. Масштаби знімання від робочої віддалі, як це часто трапляється у великомасштабному зніманні, до знімальної поверхні 18 м, становлять від 1:5600 до 1:1800. За точності надпіксельного вимірювання 0,1 піксела (коли піксел має розмір 5 мкм) умовну точку зображення в натурі можна отримати з точністю  $0,5 \times 5600 = 2800 \text{ мкм} = 2,8 \text{ мм}$  за масштабу знімання 1 : 5600 та  $900 \text{ мкм} = 0,9 \text{ мм}$  за масштабу 1:1800.

Дзеркальна камера Hasselblad H3DII зі сторонами сенсора 49x36,7 мм та вибраним об'єктивом із серії HC має більші можливості знімання. Комплект об'єктивів

до камери Hasselblad достатньо великий. Найменша фокусна відстань об'єктива HCD 4/28 дорівнює 28 мм та має постійне значення. При цьому масштаб знімання на ту саму відстань 18 м дорівнює 1 : 640. За розміру пікселя 9 мкм точність вимірювання становить  $0,9 \times 640 = 0,6$  мм.

Крім субпіксельної точності вимірювання трапляються інші помилки: за дисторсію об'єктива, за дешифрування, за кореляційне наведення тощо [4], з якими сумарна величина викривлень сягає десятків мікронів, через що можна вийти за точність визначення просторового положення окремої точки.

**Висновки.** Наведений підхід до попереднього розрахунку точності дає можливість зорієнтуватися в масштабі знімання, обрати камеру, знайти правильний результат та утриматись в нормативних допусках відповідно до великомасштабного фронтального знімання.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Сердюков В.М.* Фотограмметрия в промышленном и гражданском строительстве /В.М. Сердюков. – М.: Недра, 1977. – 245 с.
2. *Могильний С.Г.* Оцінка точності стереопари з квазізнімків / С.Г. Могильний, А.О. Луньов // Вісник геодезії та картографії. – 2007.– №.6 – С. 21 – 24.
3. *Катушков В.О.* Загальний випадок знімання для складання фронтальних цифрових моделей / В.О. Катушков // Вісник геодезії та картографії. – 2008.– №4. – С. 31–34.
4. *Шульц Р.В.* Точність вимірювання цифрових знімків при мобільному цифровому зніманні доріг / Р.В. Шульц //Каталог ГІС – Форуму – 2007. – К.: – С. 65 – 69.

Надійшла до редакції

29.05.2013

УДК 528.001 + 681.518

**Т.М. Квартич**

### АНАЛІЗ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗОВАНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ ЦИФРОВИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

*Розглянуто алгоритми класифікації цифрових зображень та методу комплексного використання інформації з декількох джерел для визначення змін об'єктів місцевості з метою оновлення бази топографічних даних.*

**Ключові слова:** база топографічних даних, дистанційне зондування Землі, класифікація зображень.

**Вступ.** В умовах стрімкого розвитку геоінформаційних систем, цифрових технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) оброблення зображень та цифрової

фотограмметрії бази топографічних даних (БТД) та бази геопросторових даних (БГД) перетворюється в кінцевий продукт сучасного топографо-геодезичного виробництва. Доступність й оперативність отримання результатів ДЗЗ потенційно забезпечують необхідні вихідні дані для оновлення та підтримання в актуальному стані БТД за принципом «сьогодні на сьогодні» (day-to-day).

Останніми десятиліттями питання автоматизованого дешифрування та розпізнавання об'єктів стали найважливішими для даних ДЗЗ. Множина комбінацій різних каналів багатоспектральних знімків з подальшим розширеним аналізом даних надає нові можливості для ідентифікації різних об'єктів місцевості [1]. Але, незважаючи на наявність досить потужних програмних систем опрацювання результатів ДЗЗ (типу ERDAS Imagine, ENVI, MatLab тощо), оброблення та інтерпретація цифрових зображень ДЗЗ залишається трудомістким процесом, практично за постійної участі фахівця-інтерпретатора. Аналіз підходів і визначення методів та засобів підвищення рівня автоматизації оброблення, а також класифікації цифрових зображень з метою формування геоінформаційних моделей об'єктів місцевості становлять мету і зміст пропонованого дослідження.

**Аналіз останніх публікацій.** Розроблення методів і технологій автоматизованого дешифрування даних ДЗЗ з мінімальним залученням оператора та високою достовірністю отримання результатів класифікації зображень є основою сучасних досліджень багатьох науковців та виробників [6; 7; 8]. При цьому розглядаються різні методи класифікації: диференційна класифікація на підставі даних з одного джерела, інтегральна, основана на отриманні комплексних оцінок результатів диференційних класифікацій, та комплексна класифікація, що ґрунтується на об'єднанні даних з різних джерел в єдиний простір ознак класифікації. Реалізація останньої з названих класифікацій ускладнюється тим, що матеріали ДЗЗ зазвичай є різнорідними та різночасовими, а формування єдиного простору ознак передбачає принаймі узгодженість піксельної структури та просторового розрізнення вихідних даних з різних джерел.

До перспективних напрямів подолання цих проблем у сучасних дослідженнях належать методи, основані на комплексному використанні інформації з різних джерел зокрема, ортофотозображень, багатоспектральних даних ДЗЗ і даних лазерного сканування, а також наявних цифрових моделей об'єктів місцевості із БТД.

**Виклад основного матеріалу.** Ефективність використання даних ДЗЗ залежить від просторової та радіометричної роздільної здатності зображень, кількості та змісту спектральних каналів, кроку лазерного сканування, методів попереднього оброблення даних, адекватності алгоритмів тематичної класифікації (дешифрування), мети та призначення класифікації, характеру об'єктів, які розпізнаються тощо.

Для повноти подальшого викладу матеріалу доцільно нагадати основні визначення та поняття загальної теорії класифікації цифрових зображень.

Як відомо, класифікація цифрових зображень – це процес розпізнавання образів (сортування, розподілу) елементів зображення (пікселів), кожний з яких в загальному

випадку описують  $n$ -мірним вектором ознак (атрибутами)  $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]$ , на кінцеву кількість класів об'єктів (областей зображення).

Якщо перед початком класифікації невідомо, скільки та які об'єкти є на знімку, застосовують класифікацію без навчання (некеровану класифікацію). Цей процес означає автоматичний розподіл пікселів зображення на підставі аналізу статистичного розподілу їх яскравості. Недоліком цієї класифікації є те, що потрібно виконувати дешифрування отриманих класів, щоб визначити, яким об'єктам зображення вони відповідають. Некеровану класифікацію часто використовують як попередній етап класифікації з навчанням.

Класифікацію з навчанням (керовану класифікацію) застосовують, коли наперед відома кількість класів об'єктів та їх типологічні особливості. У процесі цієї класифікації розподіл пікселів на класи здійснюють на основі порівняння значень характеристик кожного пікселя з еталонами (навчальними вибірками), які формують для кожного класу шляхом відбору пікселів з певним діапазоном характеристик відповідно до реальних об'єктів місцевості на знімку.

У сучасних програмних продуктах реалізовано різні алгоритми розпізнавання зображень, що відрізняються за методами визначення параметрів і правилами класифікації. Множина всіх алгоритмів класифікації поділяється на дві узагальнені групи – керованої і некерованої класифікації і окремого методу – дерева рішень (рисунок).

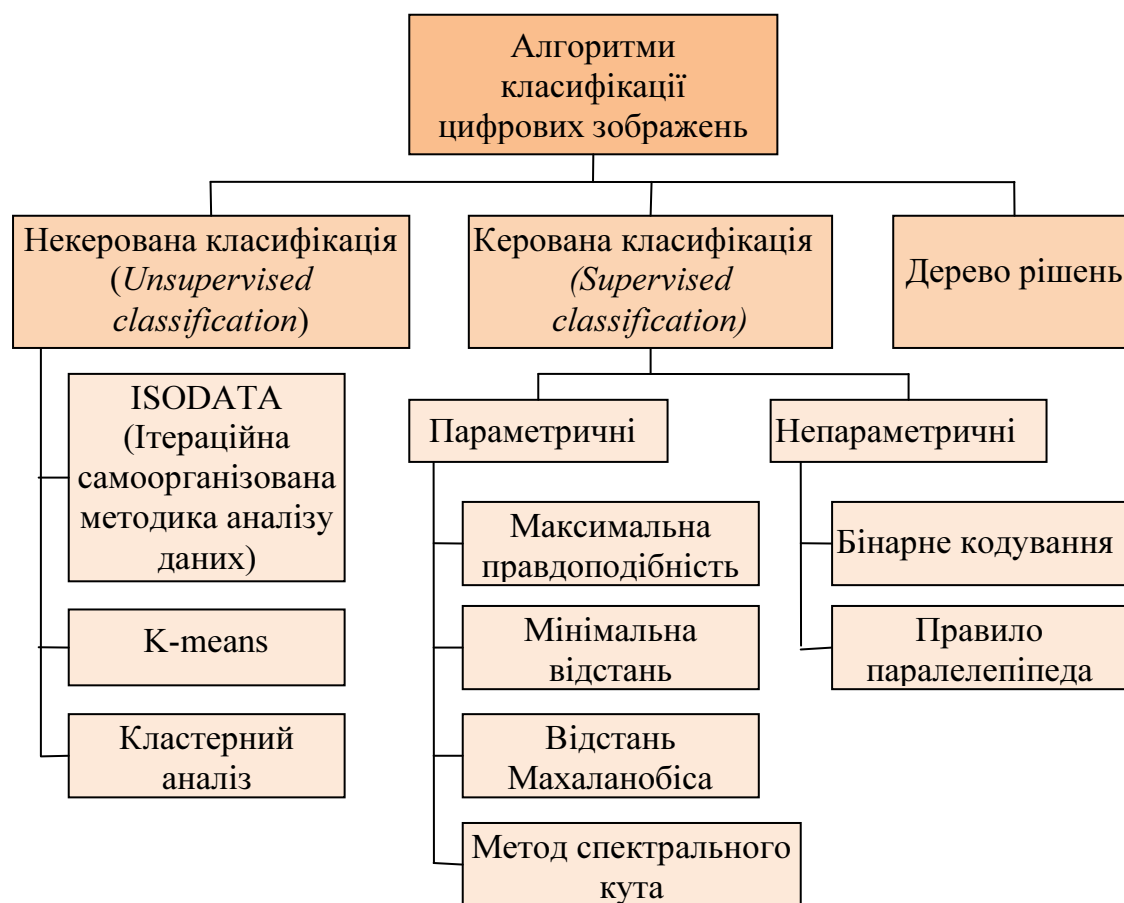


Рисунок. Схема типізації алгоритмів класифікації цифрових зображень



У некерованій класифікації (*Unsupervised classification*) [2,3,5] використано алгоритми, які базуються на кластерному аналізі. Для формування кластерів можна застосовувати, наприклад, критерій мінімальної спектральної відстані до центрів кластерів. Ітераційний процес кластеризації починається з довільно вибраних центрів для наперед заданої кількості кластерів (класів). Після визначення належності всіх пікселів до одного з класів центри кластерів переобчислюють, і процес класифікації повторюють відповідно до нових координат центрів кластерів та відстані пікселів до них в просторі ознак. Ітераційний процес завершується за дотримання однієї з таких умов:

- зміщення центрів кластерів на  $i$ -му кроці порівняно з  $(i - 1)$ -м не перевищує певного наперед заданого малого значення;
- досягнуто наперед задане значення максимального відсотка пікселів, що не змінили свого класу;
- виконано наперед задану максимальну кількість ітерацій.

У програмних продуктах найчастіше реалізується некерована класифікація за методом ISODATA (*Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique*) та K-means. Ці методи некерованої класифікації корисно застосовувати тоді, коли кількість навчальних вибірок мала або їх взагалі немає.

Керована класифікація (*Supervised classification*) [2; 3; 5] ґрунтується на попередньому статистичному аналізі заданих еталонів (ідентифікованих ділянок зображення або бібліотек навчальних вибірок) зі створенням для кожного з них відповідних сигнатур (спектральних характеристик об'єктів або класів об'єктів на поверхні Землі, що є певною комбінацією відбитого і поглиненого електромагнітного випромінювання на різних довжинах хвиль та можуть однозначно ідентифікувати класи об'єктів) і в подальшому використовуються для визначення центрів класів. Алгоритми класифікації, як і самі сигнатури, можуть бути параметричними й непараметричними. В параметричних алгоритмах використовують певний вид статистичного розподілу (зазвичай це нормальний розподіл), а за навчальними вибірками оцінюють деякі параметри, пов'язані з цими функціями (математичне сподівання, дисперсія тощо). Якщо функція розподілу наперед не визначена, то її знаходять в процесі статистичного оброблення навчальних вибірок, а відповідні алгоритми називають непараметричними.

До параметричних алгоритмів класифікації зображень належать:

- метод максимальної правдоподібності – за наперед визначеними законами розподілу розраховують імовірність  $P_i$ , з якою певний піксел належить до певного класу. Кожен піксел належить до класу з максимальною ймовірністю  $P_i$ . У розрахунку  $P_i$  беруть до уваги яскравість пікселя і яскравості пікселів навколо нього;

- метод мінімальної відстані застосовують, коли спектральні ознаки різних класів схожі, а діапазони значень їх яскравості перекриваються. Значення яскравості пікселів розглядають як вектор  $f_{ij}$  в просторі спектральних ознак, де  $i, j$  – це значення яскравості пікселя в різних спектральних каналах. Розподіл пікселів за класами здійснюють за евклідовою відстанню між векторами ознак пікселів та еталонними векторами, визначеними за навчальними вибірками;

– за відстанню Махаланобіса визначають схожість вектора яскравості пікселя та відомої вибірки. Відстань Махаланобіса відрізняється від евклідової відстані тим, що в ній взято до уваги кореляцію. Для визначення належності пікселя до одного з  $N$  класів знаходять коваріаційні матриці усіх класів на основі відомих вибірок з кожного класу. Для пікселя розраховують відстань Махаланобіса до кожного класу, і він належить до того класу, до якого ця відстань є мінімальною;

– метод спектрального кута дає добрі результати, коли потрібно виконати класифікацію для об'єктів, які мають схожі значення яскравості в усіх спектральних діапазонах. При цьому всі піксели знімку та піксели, вибрані як еталонні, розглядають як вектори у просторі спектральних ознак та розподіляють між класами за значеннями спектрального кута між еталонним вектором та вектором певного пікселя.

У непараметричних алгоритмах можуть бути застосовувані також певні наперед визначені правила класифікації, зокрема:

– бінарне кодування використовують, коли на знімку всі піксели потрібно розділити на два класи. За бінарного кодування пікселям надають одне з двох значень відповідно до двох визначених класів, наприклад, вода і суша, на основі порівняння зі значеннями еталонних вибірок. У процесі класифікації значення характеристики кожного пікселя порівнюють із середнім значенням характеристики еталонної вибірки;

– правило паралелепіпеда застосовують, коли області значення яскравості об'єктів не перекриваються. У просторі спектральних ознак виділяються області у формі паралелепіпедів, які обмежують множину значень яскравості об'єктів певного класу. Якщо піксел за своїм значенням вектора яскравості  $f_{ij}$  у просторі ознак попадає в одну із виділених областей, він належить до відповідного класу.

Окремим класом методів автоматичного дешифрування цифрових зображень можна вважати «дерево рішень», відповідне схемі алгоритму покрокової багаторівневої класифікації [3; 5]. Його перевагою є багаторівневе налаштування, постійний контроль результатів та можливість використання збереженого «дерева рішень» для інших зображень.

Для алгоритмів керованої класифікації використовують значення вектора радіометричних характеристик пікселів як простору ознак та параметри класів, що їх визначають за навчальними вибірками відповідно до різних ділянок поверхні землі (наприклад водойм, сільськогосподарських угідь, забудованих територій тощо). Кожен клас або образ складається із множини об'єктів цифрового зображення, що мають схожі характеристики. Якщо кожному об'єкту поставити у відповідність точку в  $n$ -вимірному просторі ознак, то образу класу являє собою компактне угруповання (хмару) таких точок. Для опису класу можна скористатися статистичні характеристики його образу: вектор середніх значень або вектор математичних сподівань за всіма ознаками та вектор середньоквадратичних відхилень або дисперсію. Для багатовимірних векторів зазвичай використовують коваріаційну матрицю, на діагоналі якої змістяться дисперсії відповідних ознак.

Оскільки всі алгоритми класифікації зображень побудовані на значеннях спектральних характеристик пікселів, за якими той чи інший піксел належить до певного класу об'єктів, то з очевидних причин результати класифікації є нечіткими. Нечітка класифікація замінює точний клас визначень “так” або “ні” безперервним

інтервалом, у якому всі числа від 0 до 1 позначають значенням функції належності піксела до певного класу.

Для підвищення ефективності та достовірності результатів класифікації зображень завдяки розвитку технологій автоматизованого розпізнавання об'єктів та залученню додаткових вхідних даних до цього процесу доцільно перейти від піксел-орієнтованого до об'єктно-орієнтованого аналізу зображень з використанням інформації з БТД. В основу цього методичного підходу покладено об'єктивне припущення стосовно того, що кількість неправильно зафіксованих об'єктів у БТД та кількість змін на місцевості є суттєво меншими, ніж кількість усіх об'єктів у наборі даних [6; 7].

Інформацію з бази даних за автоматизованого дешифрування зображень використовують на етапах створення навчальних вибірок для класифікації об'єктів місцевості, визначення меж об'єктів, їх ідентифікації та виявлення можливих змін шляхом зіставлення розпізнаних об'єктів з наявними в БТД.

Кожен метод класифікації дає кращі результати для певних видів об'єктів місцевості, тому для підвищення ефективності процесів оновлення БТД за результатами ДЗЗ доцільно застосовувати нову технологію на основі адресної автоматичної класифікації даних ДЗЗ з декількох джерел. Технологія адресної автоматичної класифікації (А-класифікації) оснований на використанні інформації про векторні моделі об'єктів місцевості з БТД для раціонального вибору методів оброблення, аналізу, класифікації та сегментації растрових зображень ДЗЗ залежно від типу місцевості та об'єктів, які на ній переважають, зареєстрованих в БТД. Це дає змогу підвищити достовірність автоматизації розпізнавання об'єктів на цифрових зображеннях ДЗЗ з різних джерел й одночасно їх використовувати для виявлення змін на місцевості.

Результатами автоматичної класифікації є векторні моделі областей цифрових зображень ДЗЗ з нечіткими оцінками їх належності до певних типів об'єктів. Виявляють зміни на місцевості, порівнюючи результати А-класифікації з моделями об'єктів БТД за такою схемою:

- виявлення об'єктів, що не змінились;
- виявлення об'єктів, які змінились;
- виявлення об'єктів, що зникли;
- виявлення нових об'єктів.

Для виявлення змін в об'єктах пропонується застосування нечітких оцінок на множині просторових та відносних характеристик (координати, периметр, площа об'єкта, коефіцієнт компактності, географічний центр тощо).

Для знаходження найкращого алгоритму автоматизованого дешифрування різних типів об'єктів зображення оцінюють якість результатів їх класифікації за допомогою таких показників якості[8]:

- TP (*True Positive*), кількість пікселів, класифікованих правильно як певний визначений об'єкт (наприклад, будинок);
- TN (*True Negative*), кількість пікселів, класифікованих правильно як інші об'єкти;
- FN (*False Negative*), кількість пікселів, що належать до певного об'єкта, але класифікованих як інші об'єкти;
- FP (*False Positive*), кількість пікселів, що належать до інших об'єктів, але класифіковано як визначений об'єкт;
- UP (*Unclassified Positive*), кількість пікселів, відповідних певному об'єкту, але не класифікованих;

- UN (*Unclassified Negative*), кількість пікселів, відповідних іншим об'єктам, але не класифікованих.

Ці показники якості результатів класифікації пікселів за різними алгоритмами використовують в подальшому для розрахунку таких узагальнених мір якості [8; 9]:

1) відсоток виявлення (*Detection Rate*), визначуваний як  $DR=TP/(TP+FN+UP)$ , є ймовірністю того, що піксел класифіковано правильно;

2) достовірність (*Reliability*), визначувана як  $R=TP/(TP+FP)$ , є ймовірністю того, що піксел, класифікований як будинок, є насправді будинком;

3) помилкова негативна класифікація (*False Negative Rate*), визначувана як  $FNR=FN/(TP+FN+UP)$ , є значенням помилки і вказує на ймовірність того, що піксели, які належать до будинку, класифіковано неправильно як інші об'єкти;

4) помилкова позитивна класифікація (*False Positive Rate*), визначувана як  $FPR=FP/(TN+FP+UN)$ , є значенням помилки і вказує на ймовірність того, що піксели, які належать до інших об'єктів, помилково класифіковані як будинок;

5) не класифіковані позитивні результати (*Unclassified Positive Rate*), визначуване як  $UPR=UP/(TP+FN+UP)$ , є відсотком не класифікованих пікселів, що належать до будинку;

6) загальні не класифіковані результати (*Total Unclassified Rate*), визначувані як  $TUR=(UP+UN)/(TP+TN+FP+FN+UP+UN)$ , є відсотком всіх не класифікованих пікселів (значення браку);

7) загальна точність (*Overall Accuracy*), визначувана як  $OA=(TP+TN)/(TP+TN+FP+FN)$ , є показником загальної точності алгоритму класифікації, коли піксели, що належать до будинку, класифіковано як будинок та піксели інших об'єктів, класифікованих не як будинок.

Наведені перші шість мір якості застосовують для вибору найефективнішого алгоритму класифікації, коли всі методи мають приблизно аналогічні значення загальної точності, та для кращого аналізу кожного окремого аспекту оцінювання.

**Висновок.** Розглянуто алгоритми розпізнавання цифрових зображень, реалізованих у сучасних програмних продуктах, та обґрунтовано доцільність переходу до об'єктно-орієнтованого аналізу зображень із залученням відомостей з бази топографічних даних. Наведено характеристики для оцінювання та порівняння різних алгоритмів класифікації зображень, які доцільно застосовувати, обираючи методи і технологічні схеми оброблення й автоматизованого дешифрування даних ДЗЗ.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аккерманн Ф. Современная техника и университетское образование / Ф. Аккерманн // Изв. вузов. Геодез. и аэрофотосъем. – М.: МИИГАиК, 2011. – № 2 – С. 8 - 13.

2. Асмус В.В. Кластерный анализ и классификация с обучением многоспектральных данных дистанционного зондирования Земли / В.В. Асмус, А.А. Бучнев, В.П. Пяткин // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 1 (2009 2). – Р. 23-31.

3. Васильева И.К. Методы распознавания образов: учебн. пособ. по лабораторному практикуму / И.К. Васильева, П.Е. Ельцов. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьківський авіаційний. інститут», 2008. – 56 с.

4. Кашкин В.Б. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: учебн. пособ. / В.Б. Кашкин, А.И. Сухинин // – М.: Логос, 2001. – 264 с.

5. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование Земли: модели и методы обработки изображений /Р.А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 582с.

6. Walter, V. Automatic verification of GIS data using high resolution multispectral data / V. Walter, D. Fritsch // In: IAPRS 1998. – P. 485 - 490.

7. Walter, V. Object-based classification of remote sensing data for change detection / V. Walter // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2004. – Vol. 58, Issue: 3-4. – Publisher: Elsevier. – P. 225 – 238.

8. Khoshelham K. Performance evaluation of automated approaches to building detection in multi-source aerial data /K. Khoshelham, C. Nardinocchi, E. Frontoni, A. Mancini, P. Zingaretti // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 65, 2010. – P. 123-133.

9. Mancini A. Automatic extraction of urban objects from multi-source aerial data [Text] / A. Mancini, E. Frontoni, P. Zingaretti // Volume XXXVIII-3/W4, 2009 CMRT09 Object Extraction for 3D City Models, Road Databases and Traffic Monitoring - Concepts, Algorithms and Evaluation September 3-4, 2009, Paris, France Editor(s): U. Stilla, F. Rottensteiner, N. Paparoditis. – P. 13–18.

#### Інтернет-джерела

10. *Обработка данных ДЗЗ - Этапы обработки данных.* [http://mapexpert.com.ua/].

Надійшла до редакції

26.04.2013

УДК 517

**П.Д. Крельштейн,  
І.А. Маліна**

## **МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ ЗМІНИ ПОЛОЖЕННЯ МОРСЬКОЇ БЕРЕГОВОЇ ЛІНІЇ В АКВАТОРІЇ ЧОРНОГО МОРЯ**

*Побудовано математичну модель прогнозування динаміки зміни положення морської берегової лінії в акваторії Чорного моря.*

**Ключові слова:** берегова лінія, фазова траєкторія, функція передбачення.

**Постановка проблеми.** Математичне моделювання ґрунтується на явищі ізоморфізму – схожості форм за якісної відмінності явищ. Завдяки ізоморфізму можна моделювати одну систему за допомогою іншої, замість одного явища вивчати інше [7; 8]. За математичного моделювання замість вивчення оригіналу досліджують математичні залежності, що його описують.

**Огляд попередніх публікацій.** Досліджуючи складні об'єкти, до яких належить морська берегова лінія, доводиться брати до уваги чимало взаємопов'язаних чинників,

при цьому реально доступна інформація може бути такою, що погано формалізується, надходить в довільній формі, змінюватися в часі. У математичному моделюванні чинники відображають у вигляді математичних конструкцій, таких як параметри стану об'єкта і середовища та ін. Тому моделі повинні відображати рівень знань про об'єкт, можливості його використання і досягнення цілей моделювання. Загалом моніторинг та прогнозування природних явищ за матеріалами дистанційного зондування Землі достатньо розвинені в Україні, це насамперед роботи, виконані в Центрі аерокосмічних досліджень з участю та під керівництвом С.М. Андреева, Г.Я. Красовського, В.В. Радчука, С.М. Попова та ін. [2 – 6]. Інша наукова школа пов'язана з діяльністю професорів НУ «Львівська політехніка» О.Л. Дорожинського та Х.В. Бурштинської [1]. Однак питання розроблення математичних моделей для прогнозування змін природних об'єктів залишається малодослідженим і потребує додаткових зусиль.

**Постановка завдання.** Метою пропонованої роботи є побудова математичної моделі для прогнозування динаміки зміни положення морської берегової лінії в акваторії Чорного моря.

**Виклад основного матеріалу.** Для побудови моделі скористаємося дискретним набором координат точок берегової лінії завдовжки 20 км на західному узбережжі Чорного моря, де вимірювання координат виконані через 1 км. Отримано такі вихідні дані: топографічна карта масштабу 1:50000 (рік видання – 1972); космічна зйомка у видимому діапазоні LANDSAT-5, роздільна здатність 30 м (дата виконання – 05.05.1989); космічна зйомка у видимому діапазоні LANDSAT-7, роздільна здатність 15 м (дата виконання – 12.04.2003); космічна радіолокаційна зйомка ENVISAT, роздільна здатність 30 м (дата виконання – 02.04.2012).

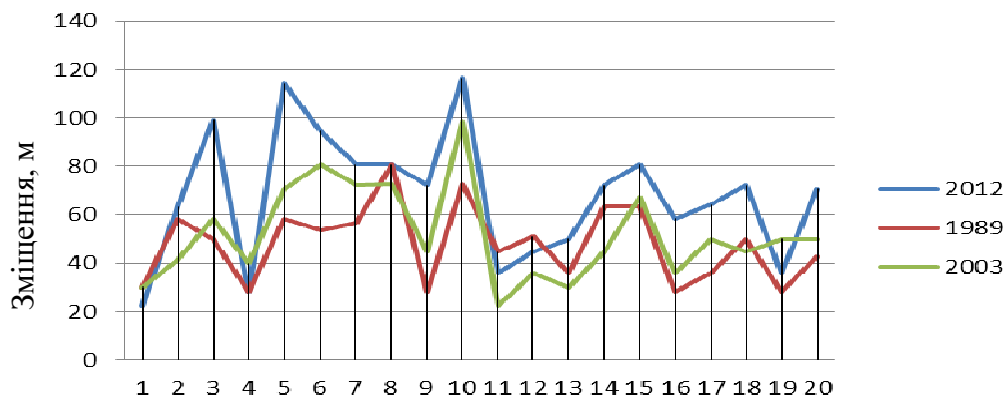


Рис. 1. Характер зміни положення морської берегової лінії в різних циклах спостережень

Виконані раніше дослідження дають підстави говорити про еквівалентність цих даних з погляду якості і точності. Таким чином отримано чотири масиви координат точок берегової лінії. Для розроблення моделі зміни стану об'єкта обчислено радіуси-вектори зміщень берегової лінії в кожному циклі. Характер зміни положення берегової лінії на радіусах-векторах в різних інтервалах спостережень зображено на рис. 1.

Для виявлення характеру процесу побудовано фазову траєкторію зміни стану морської берегової лінії (рис. 2).

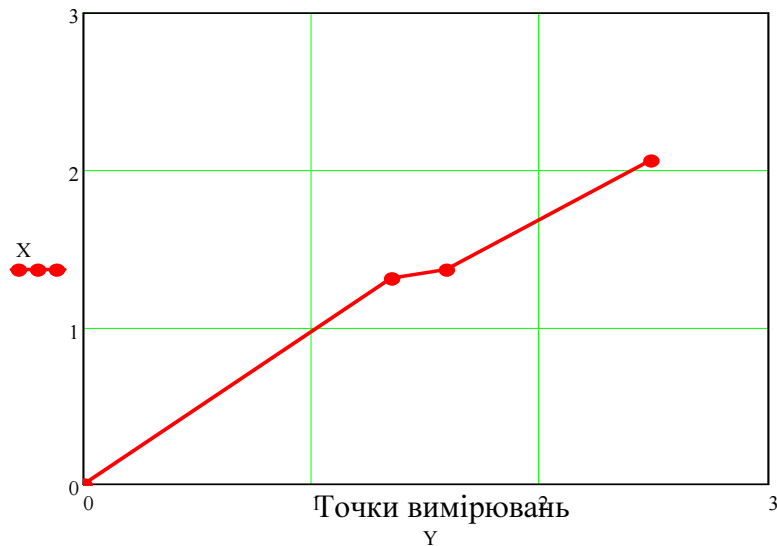


Рис. 2. Фазова траєкторія зміни стану морської берегової лінії

Графік на рис. 2 показує, що процес зміщення берегової лінії має чітко виражений лінійний характер. Таким чином, для прогнозування подальших змін достатньо використати лінійну функцію передбачення.

Проаналізуємо зміну положення берегової лінії як набір змінних для кожної точки, у розгляданому випадку це радіус-вектори зміщень точок у кожному циклі. Для кожного циклу вимірювань обчислимо середню величину зміщення берегової лінії (табл. 1).

Таблиця 1

Середні значення радіус-векторів зміщень в циклах

Рік	1972	1989	2003	2012
$R_N$ , м	0	48,2	52,0	67,8

Використаємо дані табл. 1 для побудови моделі прогнозування.

Запропонований метод прогнозування базується на тому, що величина  $R_N$  є функцією деякої множини радіусів-векторів:

$$R_N = f(R_{N-1}, R_{N-2}, R_{N-3}) \quad (1)$$

Оскільки запропоновано використовувати лінійну функцію передбачення, то застосовують такі коефіцієнти  $a, b, c$ , що

$$f(R_{N-1}, R_{N-2}, R_{N-3}) = aR_{N-1} + bR_{N-2} + cR_{N-3}, \quad (2)$$

отже

$$R_N = aR_{N-1} + bR_{N-2} + cR_{N-3},$$

$$R_{N+1} = aR_N + bR_{N-1} + cR_{N-2},$$

$$R_{N+2} = aR_{N+1} + bR_N + cR_{N-1}.$$

За допомогою наведеного алгоритму, були отримані прогнозні значення величин зміщення берегової лінії протягом четвертого і п'ятого циклу спостережень.

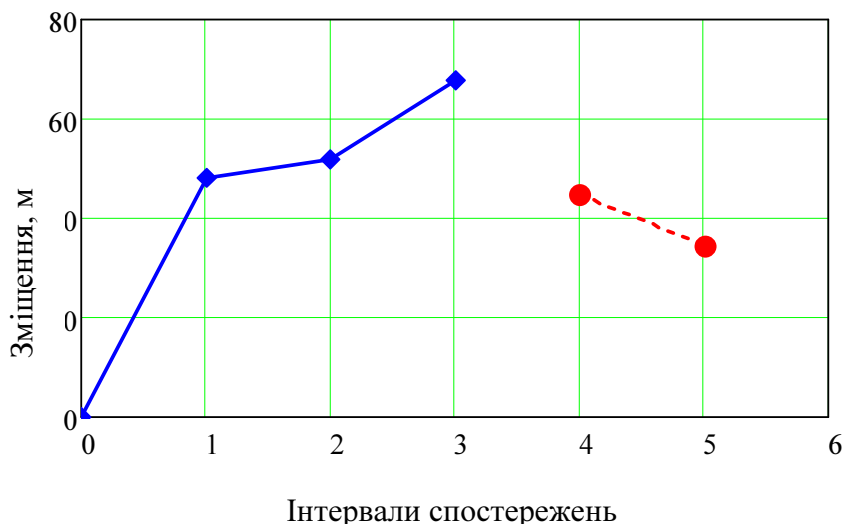


Рис. 3. Побудова прогнозу за допомогою лінійної функції передбачення

Побудована математична модель на досліджуваній ділянці узбережжя дає змогу припустити, що найближчим часом не слід очікувати значних зміщень берегової лінії. Очікувані зміщення знаходяться в інтервалі 35-45 м.

**Висновок.** За результатами дослідження запропоновано математичні моделі прогнозування динаміки зміни положення морської берегової лінії. Висвітлено спосіб побудови математичної моделі для оцінювання і прогнозування руху морської берегової лінії за допомогою моделі зміни стану об'єкта у фазовому просторі. Запропонований підхід вільний від недоліків, властивих традиційним методам аналізу.

Для експериментальної ділянки західного узбережжя Чорного моря виконано оцінювання процесу зміщення. Отримані результати свідчать про те, що процес зміщення берегової лінії має чітко виражений лінійний характер. Таким чином, для прогнозування подальшої зміни положення лінії досить скористатися лінійною функцією.

Побудована модель придатна для виконання короткотермінових прогнозів. Оскільки спостереження за положенням берегової лінії виконують через досить тривалі інтервали часу і кількість даних невелика, застосовувати класичні методи побудови моделей, такі як метод найменших квадратів, недоцільно.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шевчук В.М. Методика моніторингу руслових процесів за матеріалами аерокосмічного знімання. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.24.01 [Текст] / В.М. Шевчук; НУ «Львівська політехніка». — Л., 2011. — 25 с.
2. Сучасні інформаційні технології екологічного моніторингу Чорного моря [Текст] / С.О. Довгий, Г.Я.Красовський, В.В. Радчук [та ін. ] /за ред. С.О. Довгого. — К.: Інформаційні технології, 2010. — 260 с.
3. Красовський Г.Я. Космічний моніторинг екологічної безпеки водних екосистем із застосуванням геоінформаційних технологій [Текст] /Г.Я. Красовський. —



К.: Інтертехнологія. – 2008. – 486 с.

4. *Красовський Г.Я.* Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст. [Текст] / Г.Я. Красовський, В.А. Петросов. – К.: Наукова думка, 2003, – 200 с.

5. *Кохан С.С.* Методологія використання даних космічних зйомок і геоінформаційного аналізу з метою підвищення ефективності досліджень агроресурсів в умовах лісостепової ландшафтно-кліматичної зони України: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.07.12 [Текст] / С.С. Кохан., ін-т геол. наук, НАН України. – К., 2012. – 35 с.

6. *Андреев С.М.* Сучасні технології космічного моніторингу морських акваторій та прибережних територій на прикладі Чорного моря [Текст] / С.М. Андреев, Г.Я. Красовський, В.В. Радчук // Современные достижения в науке и образовании: сб. трудов III Междунар. науч. конф. Тель-Авив (Израиль): ХНУ, 2009. – С.94-96. -251.

#### Інтернет-джерела

7. Вовк И.Г. Введение в математическое моделирование. [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.library.ssga.ru/fultext](http://www.library.ssga.ru/fultext). – Название с экрана.

8. Вовк И.Г., Бугакова Т.Ю. Основы системно-целевого подхода и принятие решений. Вовк И.Г., Бугакова Т.Ю. Основы системно-целевого подхода и принятие решений. [www.library.ssga.ru/fultext](http://www.library.ssga.ru/fultext). – Название с экрана.

Надійшла до редакції

12.08.2013

**АННОТАЦИИ/SUMMARY****А.В. Адаменко****СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ НОРМИРОВАНИЯ ТОЧНОСТИ  
ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ СООРУЖЕНИИ  
ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*Приведен обзор существующего состояния нормативного обеспечения инженерно-геодезических работ в Украине. Установлено, что в большинстве случаев нормативная база устарела и не соответствует современным строительным технологиям. Действующие на сегодняшний день нормативные документы, изданные во времена Советского Союза, подпадают под действие Постановления Кабинета Министров Украины от 13 апреля 2011 г. N 471 Об утверждении Программы пересмотра государственных строительных норм и правил на период до 2015 года. В рамках этой программы в каждом нормативном документе должна быть пересмотрена и усовершенствована геодезическая составляющая обеспечения строительства. Изданные в Украине после 1992 года нормативные документы требуют обязательного пересмотра и дальнейшего усовершенствования.*

**Ключевые слова:** надежность сооружения, нормативная база, геодезическое обеспечение.

**A. Adamenko****CURRENT STATUS ACCURACY SETTING OF NORMS OF GEODETIC WORKS  
AT A CONSTRUCTION OF ENGINEERING STRUCTURES**

*Provides an overview of the current state of regulatory support engineering - geodetic works in Ukraine. Found that in most cases, the regulatory framework is outdated and does not meet modern construction technologies. Acting today regulations issued during the Soviet Union subject to the Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated April 13, 2011 N 471 On approval of the revision of the state building regulations for the period until 2015. Under this program, each normative documents should be reviewed and improved to ensure the construction of geodetic component. Published in Ukraine after the 1992 regulations require that the revision and improvement.*

**Keywords:** reliability of structures, regulatory frameworks, geodesic support.

---

**А.С. Гончаренко, В.Н. Гладилин****ПРИМЕНЕНИЕ МАТРИЧНЫХ ПРИЕМНИКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ В АСТРОНОМО-  
ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ПРАКТИКЕ**

*Рассмотрены особенности практического применения матричных приемников излучения в качестве регистраторов информации для определения координат точечных изображений.*

---

**Ключевые слова:** ПЗС-матрица, уклонение отвесных линий, точечные источники излучения (ТИИ), матричный приемник излучения (МПИ).

**A. Goncharenko, V. Gladilin**

#### **APPLICATIONRECEIVERS RADIATION IN ASTRONOMY -GEODESY PRACTICE**

*Features of the practical application of matrix receivers radiation as registrars information to determine the coordinates of point images in the article were discussed.*

**Keywords:** CCD, plumbines deviation, point light sources(PLT), matrix receivers radiation(MRR).

---

**А.В. Зуска**

#### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПОЛЗНЕОПАСНЫХ УЧАСТКОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА**

*На основании геодезического мониторинга установлено, что неравномерно распределенные по площади векторы смещений оползневых точек в пространстве и геометрические параметры гидрогеологического строения склона в этих точках представляют кинематическую модель оползневого процесса, изображение которой в изолиниях позволяет определять оползнеопасные участки, интенсивность и направление смещений.*

**Ключевые слова:** геодезический мониторинг, оползневые процессы, оползнеопасный участок, параметры смещений, геометрические параметры строения склонов, кинематическая модель оползневого процесса.

**A. Zuska**

#### **DEFINITION OF LANDSLIDEON THE RESULTS OF GEODETIC MONITORING**

*On the basis of geodetic monitoring found that unevenly distributed over the area of landslide displacement vectors of points in space and geometrical parameters of hydrogeological structure of the slope at these points represent a kinematic model of the landslide process image which allows to determine the isolines of landslide-prone areas, the intensity and direction of the displacement.*

**Keywords:** geodetic monitoring, landslides, landslide-prone land, displacement parameters, geometrical parameters of the structure of the slopes, the kinematic model of the landslide process.

---

**Я.М. Костецкая, Ю.Р. Пишко, И.М. Торопа**

#### **ВЛИЯНИЕУГЛА ОТСЕЧКИ НА ТОЧНОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ ПУНКТОВ В СЕТЯХ, СОЗДАНЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ GPS ИGLONASS**

*Исследования показали, что влияние угла отсечки на точность положения пунктов, определённых при наблюдениях спутников систем GPS и GLONASS, практически такое же, как при наблюдениях спутников только системы GPS.*

*Поэтому при использовании приёмников, которые принимают сигналы этих систем, рекомендуется также устанавливать угол отсечки 15°.*

**Ключевые слова:** *угол отсечки, спутниковые системы GPS/GLONASS*

**Y. Kostetska, Y. Pishko, I. Toropa**

### **INFLUENCE CUTOFF ANGLE ON POINT POSITION ACCURACY IN NETWORKS, CREATING USING GPS AND GLONASS**

*Research has shown that the elevation mask influence on points positioning accuracy, which determined by observation GPS and GLONASS satellite systems is practically the same as when observing GPS system only. Therefore, it is recommended setting the elevation mask to 15°, for receivers that can receive signals from both systems.*

**Keywords:** *cutoff angle, satellite system GPS / GLONASS/*

**Н.В. Кучина**

### **ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ РАСЧЕТА ТОЧНОСТИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ ПРИ МОНТАЖЕ КОРПУСОВ СУДЕН**

*В статье рассмотрена концепция расчета одного из ключевых параметров, который влияет на результирующую геометрию корпуса судна – точности геодезических работ при монтаже корпусов судов. Проанализированы и классифицированы факторы, которые формируют окончательную геометрию корпуса судна и влияют на его прочность.*

**Ключевые слова:** *производственная модель судна, погрешности, размерная цепь.*

**N. Kuchina**

### **GENERAL CONCEPTS OF ACCURACY CALCULATION OF GEODETIC WORKS AT INSTALLATION SHIP HULL**

*The article discusses the concept of calculating one of the key parameter that affect the resulting geometry of the hull-geodetic work precision when installing the hulls of ships. Analyzed and classified factor that form the final geometry of the hull and affect its strength*

**Keywords:** *production model ship, errors, dimensional chain.*

**Л.В. Манукян, В.А. Маркарян**

### **ПРО СТВОРЕННЯ МОДЕЛІ КВАЗІГЕОЇДА І МЕРЕЖІ ПОСТІЙНО ДІЮЧИХ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ В РЕСПУБЛІЦІ ВІРМЕНІЯ**

*Сучасні супутникові технології знайшли широке практичне застосування в геодезії, топографії, кадастрі, землеустрої, навігації і в інших суміжних з ним областях. Це пов'язано з удосконаленням радіонавігаційних систем, розвитком комп'ютерних технологій, в цілому необхідних для створення високоточних та автоматизованих польових геодезичних приладів. Стаття присвячена створенню в Республіці Вірменія моделі квазігеоїда і впровадженню мережі постійно діючих референційних GPS станцій. Описано вимірювання, які стали основою для створення*

локальної попередньої моделі квазігеоїда. На підставі додаткових вимірів обґрунтована необхідність уточнення різниці висот еліпсоїдальних поверхонь в системі WGS-84. Наведено основні особливості роботи референцих станцій на основі супутникових технологій, процес складання проекту на території РА постійно діючої GPS мережі з урахуванням основних її факторів.

**Ключові слова:** супутник, система, мережа, станція, квазігеоїд.

**L. Manukyan, V. Markarian**  
**ON THE ESTABLISHMENT OF QUASIGEOID MODELS AND**  
**NETWORKS CONTINUOUSLY OPERATING REFERENCE STATIONS OF THE**  
**REPUBLIC OF ARMENIA**

*Modern satellite technology has found wide application in geodesy, topography, cadastre, land management, navigation, and other adjacent areas. This is connected with the improvement of navigation systems, the development of computer technology, in general, needed to create a highly accurate and automated field surveying instruments. This paper is dedicated to the creation of quasigeoid model in the Republic of Armenia. and implementation of a network of permanent GPS reference stations. The measurements that are the basis for the creation of a local preliminary quasigeoid model are described in this paper. Based on additional measurements necessity for adjustment of elevation differences of the ellipsoidal surfaces in WGS-84 has been justified. This paper presents the major features of the reference stations based on satellite technology, as the drafting process of permanent GPS networks of RA taking into account its main factors.*

**Keywords:** satellite, system, network, station, quasigeoid.

**Е. Паршялюнас, Р. Бирвидене, П. Петрошкявичюс,**  
**Ч. Аксамитаускас, Л. Папшене**

**АНАЛІЗ ГРАВІМЕТРИЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ УТОЧНЕННЯ КВАЗІГЕОЇДА**

*Подано нову гравіметричну мережу Литви, яка дозволила оцінити точність гравіметричної карти масштабу 1:200 000 і виявити її систематичні помилки. Гравіметричні дані нової мережі і на основі їх створена цифрова модель різниць прискорення сили тяжіння, дозволили уточнити вихідну інформацію для визначення квазігеоїда.*

**Ключевые слова:** гравіметрична мережа, квазігеоїд.

**E. Paršeliūnas., R. Birvidene, P. Petroškevičius, C. Aksamitauskas, L. Papšienė**

**ANALYSIS OF GRAVITY DATA TO QUASIGEOID UPDATE**

*The paper presents a new gravimetric network of Lithuania that allowed evaluate the truth of gravimetric map of scale 1:200 000 and identify the systematic error. The gravity data of the network and a digital model of gravity differences based on it allowed specify the initial data for the determination of quasigeoid.*

**Keywords:** gravimetric network, quasigeoid.

**Р.В. Шульц, А.А. Анненков, А.В. Мельник, А.М. Хайлак**

### **ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ОСАДКАМИ МЕТОДОМ ФИЛЬТРАЦИИ ПО КАЛМАНУ**

*Приведены общие сведения о теории фильтрации измерений с использованием фильтра Калмана. На основе аналогии между обработкой результатов динамических наблюдений за движущимися объектами и обработкой результатов геодезических наблюдений за перемещениями и осадками инженерных сооружений, сделано предположение о возможности использования для обработки геодезических наблюдений фильтрации по Калману. Выполнена экспериментальная проверка работы фильтрации по Калману при оценке кинематических параметров осадочных процессов на примере наблюдений за осадками гидротехнического сооружения.*

**Ключевые слова:** *фильтр Калмана, матрица перехода, матрица усиления, корреляционная матрица, вектор состояний, сглаживание, прогнозирование.*

**R. Schultz, A. Annenkov, A. Melnyk, A. Haylak**

### **TREATMENT RESULTS OF ENGINEERING - GEODETIC OBSERVATIONS ON SEDIMENTS BY USING KALMAN FILTERING METHOD**

*Provides an overview of the theory of filtration measurements using a Kalman filter. On the basis of the analogy between the treatment of the results of dynamic observations of moving objects and processing results of geodetic observations of the movements and sediments engineering structures has been suggested the possible use for the treatment of geodetic observations by Kalman filtering. The experimental verification of the Kalman filter in the assessment of kinematic parameters of sedimentary process on the example of sediments observations of hydraulic engineering work.*

**Keywords:** *Kalman filter, the transition matrix, gain matrix, the correlation matrix, vector states, smoothing, prediction.*

---

**Р.В. Шульц, Н.В. Белоус**

### **УТОЧНЕНИЕ МЕТОДИКИ НАЗНАЧЕНИЯ НЕОБХОДИМОЙ ТОЧНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ СЕТИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*Выполнен анализ существующих подходов к назначению необходимой точности создания геодезической основы для обеспечения сбойки встречных забоев. Разработана усовершенствованная методика назначения точности создания геодезической сети, в которой отсутствуют теоретические и терминологические неопределенности.*

**Ключевые слова:** *геодезическая основа, допуск, допустимое отклонение, габарит, сбойка.*

**R. Schulz, M. Bilous**

### **UPDATEPROCEDUREAPPOINTMENTSREQUIREDACCURACY OF CONSTRUCTION OF GEODETICNETWORK FOR TUNNELLING**

*The analysis of the existent methods is executed near setting of necessary accuracy of creation of geodesic basis for providing of breakthrough of meetings tunnels. The improved*

---

*method of setting of geodetic network accuracy creation in which the theoretical and terminological absent an ambiguity is developed.*

**Keywords:** *geodetic control, tolerance, tolerance deviation, size, breakthrough*

---

**С.П. Войтенко, А.С. Мазницкий, В.П. Заболотный**

**О КОНЦЕПЦИИ СОЗДАНИЯ БАЗЫ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ В СФЕРЕ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ**

*Выполнен анализ современного состояния дел относительно использования нормативно-технических документов по маркшейдерским и геодезическим работам при разработке месторождений полезных ископаемых. Даны рекомендации по концепции создания базы нормативно-технических документов в упомянутой сфере.*

**Ключевые слова:** *полезные ископаемые, нормативная база.*

**S. Voytenko, A. Maznitsky, V. Zabolotnyi**

**ON THE CONCEPT OF CREATION DATA BASE NORMATIVE AND TECHNICAL DOCUMENTS IN THE FIELD OF MINING**

*The analysis of the current status of regulatory and technical documents for surveying and geodetic work in the development of mineral deposits. The recommendations on the concept of creation and maintenance of framework regulations in this sphere.*

**Keywords:** *minerals, regulatory framework.*

---

**М.А. Малашевский, Л.В. Горпинич**

**ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СВЕРХНОРМАТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ПОД ПРОМЫШЛЕННЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

*В статье предложены подходы вычисления необходимой нормативной площади земельного участка для осуществления промышленной деятельности хлебозаводом.*

**Ключевые слова:** *промышленный объект, сверхнормативная площадь, налогообложение.*

**M. Malashevskij, L. Gorpinich**

**APPROACHES TO DEFINING AREAS EXCESS FOR INDUSTRIAL FACILITIES**

*In the article offered approach calculation of necessary normative area of lot land for realization of industrial activity a bread-baking plant.*

**Keywords:** *industrial facility, excess area, taxation*

---

**Н.В. Трєгуб**

**ОБОСНОВАНИЕ ДОПУСТИМОЙ СРЕДНЕЙ КВАДРАТИЧЕСКОЙ  
ПОГРЕШНОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ УГЛОВ ПОВОРОТА ГРАНИЦ ЗЕМЕЛЬНЫХ  
УЧАСТКОВ**

*Выполнены исследование и систематизация факторов, которые влияют на точность определения координат углов поворота границ земельных участков. Установлена допустимая средняя квадратичная ошибка положения углов поворота границ земельных участков.*

**Ключевые слова:** *площадь земельного участка, межевой знак, угол поворота границ земельного участка.*

**N. Trehub**

**RATIONAL EADMISSIBLE MEANS SQUARED ERROR POSITION OF  
BOUNDARIES ROTATION ANGLES OF THE LAND PARCELS**

*Were researched and systematized factors that influence on precision of definition of land parcels boundaries coordinates. Proposed to define possible root mean square error of land parcels boundaries determination.*

**Keywords:** *land parcels area, landmark, angle of land boundaries.*

---

**Н.П. Генсецкий, В.С. Староверов**

**ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ В СИСТЕМЕ  
ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО КАДАСТРА**

*В статье наведено структуру комплексной информационной модели городской территории. Детализовано структуру основных моделей городской среды, их задания, функциональное назначение и взаимосвязь в единой базе набора геопространственных данных.*

**Ключевые слова:** *градостроительный кадастр, городская территория, кадастровая модель.*

**N. Gensetsky, V. Staroverov**

**INFORMATION MODEL URBAN AREAS IN THE URBAN CADASTRE SYSTEM**

*The structure of complex informative model of municipal territory has been given in the article. The structure of principal models of municipal environment, their tasks, functional purpose and correlation in a sole base set of geospace data has been detailed.*

**Keywords:** *town-planning cadastre, urban area, cadastral model.*

---



Л. Папшене

**АВТОМАТИЗОВАНА ГЕНЕРАЛІЗАЦІЯ У ПРОЦЕСІ ОНОВЛЕННЯ БАЗОВИХ ПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДРІБНОГО МАСШТАБУ**

*У статті подано основні аспекти та етапи проектування автоматизованої генералізації в процесі оновлення просторових даних дрібного масштабу, засновані на результатах досліджень автоматизованого поновлення державних базових просторових даних Литви в масштабі 1:50000.*

**Ключові слова:** просторові дані, ГІС, генералізація.

L. Papšienė

**AUTOMATED GENERALIZATION IN THE UPGRADE PROCESS OF SPATIAL DATABASES SMALL SCALE**

*The article presents the main aspects and the stages of designing automatic generalisation in the process of the updating base spatial data at smaller scale. The recommendations are based on results of research of automatic updating Lithuanian state base spatial data set at scale of 1:50,000.*

**Keywords:** spatial data, GIS, generalization

В.А. Катужков, Б.И. Денисюк

**О ТЕХНОЛОГИИ НАЗЕМНОЙ СЪЕМКИ ДЛЯ СОСТАВЛЕНИЯ ФРОНТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ КРУПНОГО МАСШТАБА**

*Рассмотрена технология наземной фотограмметрической съемки на застроенных городских территориях для получения крупномасштабных векторных планов. Предрасчитана возможность использования неметрических цифровых камер с малыми размерами сенсоров и фокусными расстояниями объективов.*

**Ключевые слова:** технология наземной съемки, масштабы съемки, фронтальные планы, цифровые камеры.

V. Katushkov, B. Denysiuk

**TECHNOLOGY OF TERRESTRIAL SURVEY OF FRONT INFORMATION OF LARGE SCALE**

*Studied the technology of terrestrial photogrammetric survey in built up urban areas for large-scale's vector plans. Calculations are possible using non-metric digital cameras with small: sensor size and focal length lens.*

**Keywords:** technology ground surveys, scale surveying, digital cameras.

**Т.Н. Квартич**

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ  
ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДИСТАНЦИОННОГО  
ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ**

*Рассматриваются алгоритмы классификации цифровых изображений и методика комплексного использования информации из нескольких источников для определения изменений объектов местности с целью обновления базы топографических данных.*

**Ключевые слова:** база топографических данных, дистанционное зондирование Земли, классификация изображений.

**T. Kvartych**

**ANALYSIS METHODS OF DIGITAL IMAGESAUTOMATED CLASSIFICATION  
OF REMOTESENSING**

*Considered algorithms of classification digital image and methods of use of fusion information from multi-sources to determine changes in objects of district to update of topographic data bases.*

**Keywords:** topographic database, remote sensing, imageclassification.

---

**П.Д. Крельштейн, И.А. Малина**

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДИНАМИКИ  
ИЗМЕНЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЯ МОРСКОЙ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ В АКВАТОРИИ  
ЧЕРНОГО МОРЯ**

*Построена математическая модель прогнозирования динамики изменения положения морской береговой линии в акватории Черного моря.*

**Ключевые слова:** береговая линия, фазовая траектория, функция предвидения.

**P. Krelshteyn, I. Malina**

**MATHEMATICAL MODELS OF FORECASTING DYNAMICS  
CHANGEPROVISIONS SEA COASTLINEIN THE BLACK SEA**

*The mathematical model of prognostication of dynamics of change of position of marine coastline is built in the aquatorium of the Black sea.*

**Keywords:** Waterfront, phase trajectory, functionprediction.

## ДО ВІДОМА АВТОРІВ

### Вимоги до оформлення матеріалів, які подаються до науково-технічного збірника «Інженерна геодезія»

В науково-технічному збірнику «Інженерна геодезія» публікуються статті, які представляють науковий і практичний інтерес.

Статті подаються українською, російською або англійською мовами, і вони мають бути 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, яким присвячено означену статтю; формулювання мети статті: виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки за результатами дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

**Стаття супроводжується:** відомостями про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, звання, місце роботи, посада, службова адреса, адреса електронної пошти таконтактні телефони).

### ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

- До розгляду приймають статті, надруковані в одному примірнику на аркушах паперу формату А4(текст, таблиці, бібліографію друкувати так: поля зверху, знизу та справа – 20 мм, зліва – 25 мм; інтервал 1,5; кегль 12; розмір шрифту анотації – 12; шрифт TimesNewRoman). Обов'язково слід подати електронну копію статті у форматі MicrosoftWord (\*.doc).
- Рекомендується, щоб площа, зайнята рисунками, становила 20-25% загального обсягу статті. Всі рисунки необхідно подавати чорним кольором та обов'язково з підписами.
- На першій сторінці статті у лівому верхньому куті ставиться УДК ..., а справа, рядком нижче, вказуються ініціали та прізвище автора (напівжирним шрифтом) разом з інформацією про автора (науковий ступінь, звання, місце роботи, посада), нижче по центру – назва статті напівжирними прописними буквами, потім анотація (мовою статті) курсивом далі сам текст.
- Обсяг **анотації** українською та російською мовами складає 50 – 100 слів, англійською – 150 – 200 слів. Після кожної анотації наводять ключові слова у називному відмінку на мові 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 виділяється підзаголовком “**Список літератури**” та оформлюється 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 необхідно застосувати стиль APA ([www.apastyle.org/](http://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 відповідно мовою анотації.
- Заповнення останньої сторінки повинно бути не менше 80%.

Наукове видання

## **ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ**

Науково-технічний збірник

Випуск 60

Редагування *Г.В. Кобриної*

Коректура *О.В. Карпенко*

Комп'ютерне верстання *Ю.Г.Томащука*

Підписано до друку .2014. Формат 60 × 84 <sup>1/8</sup>

Ум. друк. арк. 15,34. Обл.-вид. арк. 16,5.

Тираж 200 прим. Вид. № 10/П-14. Зам. №

Видавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680

Е-mail: [red-isdat@ukr.net](mailto: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.