

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ВИПУСК 66, 2019

ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Заснований у 1965 році

Свідectво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації

Серія КВ № 4185 від 10 травня 2000 р.

DOI: <https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.66>

У збірнику висвітлюються актуальні питання:

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

Постановою президії ДАК України №1413 від 24 жовтня 2017 року збірник наукових праць «Інженерна геодезія» включено до «Переліку фахових видань України», в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук

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

Затверджено до друку вченою радою Київського національного університету будівництва і архітектури

(протокол № 23 від 31 травня 2019 року)

Адреса редакційної колегії:

Україна, 03037, м. Київ,

Повітрофлотський пр., 31

Тел.: +38(044)249-72-51;

+38(044)241-54-71;

+38(044)241-55-69

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

site: geodesy.knuba.edu.ua

© Київський національний університет будівництва і архітектури, 2019

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

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

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

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

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ**МІЖНАРОДНІ ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ**

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

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

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

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

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

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

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

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

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ З УКРАЇНИ

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

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

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

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

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

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

ЧЛЕНИ РЕДКОЛЕГІЇ ЗАСНОВНИКА

Юрій КАРПІНСЬКИЙ, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри геоінформатики і фотограмметрії

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

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

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

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

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

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

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

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

ISSUE 66, 2019

ENGINEERING GEODESY

SCIENTIFIC AND TECHNICAL COLLECTION

Founded in 1965

State Registration Certificate of print media

KV series number 4185 from May 10, 2000

DOI: <https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.66>

The book covers topical issues in

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

Decisions of the Presidium of DAC of Ukraine №1413 from October 24, 2017 collection of scientific papers "Engineering geodesy" included in the "List of professional publications of Ukraine", in which can be published results of dissertations on competition doctor's degree and candidate of Science

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

*Approved for publication by the Academic Council of the Kyiv National University of Construction and Architecture
(Protocol № 23 from May 31, 2019)*

Editorial board address:
Ukraine, 03037, Kyiv,
Povitroflotsky avenue, 31
Tel.: +38(044)249-72-51;
+38(044)241-54-71;
e-mail: eng.geodesy.29@gmail.com
site: geodesy.knuba.edu.ua

UDC 528

EDITORIAL BOARD

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

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

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

EDITORIAL MEMBERS**FOREIGN EDITORIAL MEMBERS**

Jurate SUZIEDELYTE VISOCKIENE, Dr. of Sciences, Professor, Head of Department of Geodesy and Cadastre (Vilnius Gediminas Technical University, Vilnius, **Lithuania**)

Michael BRYN, Dr. of Sciences, Professor, Head of Department of Engineering Geodesy (Petersburg State Transport University, Saint-Petersburg, **Russia**)

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

Vladimir SEREDOVICH, Ph.D., Professor, Vice-rector (Siberian State University of Construction and Architecture, Novosibirsk, **Russia**)

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

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

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

Eugene LEVIN, Ph.D, Chair and Associate Professor Surveying Engineering School of Technology (Michigan Technological University, **USA**)

EDITORIAL MEMBERS FROM UKRAINE

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

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

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

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

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

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

EDITORIAL MEMBERS FROM UNIVESTITY

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

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

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

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

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

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

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

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

З М І С Т

ГЕОДЕЗІЯ

1. *Самоїленко О.М., Сикал С.А.* Розроблення заходів щодо створення системи координатно-часового забезпечення роботи Укрзалізниці геодезичними методами 7
2. *Кучер О.В., Староверов В.С., Ковальов М.В.* Аналіз впливу зміщень земної поверхні на стабільність координатних систем 19
3. *Нестеренко О.В., Савчук І.А.* Перспектива розвитку системи технічного регулювання у сфері геодезії, картографії, землеустрою та геоінформатики в Україні 25
4. *Ковтун В.М.* Визначення відхилень від вертикальності стінок резервуарів вертикальних сталевих 32
5. *Староверов В.С., Нікітенко К.О.* Розрахунок параметрів аеро-фотозйомки під час паспортизації магістральних трубопроводів 45
6. *Гладілін В.М., Дубкова А.О., Чуланов П.О., Шудра Н.С.* Деформаційні моделі як фізичні процеси 52
7. *Терещук О.І., Крячок С.Д.* Аналіз критеріїв врахування залишкових систематичних похибок у результатах подвійних рівноточних вимірювань 63
8. *Медведський Ю.В.* Використання авторегресії в задачі спостереження за осіданнями споруд 74

КАДАСТР І МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

9. *Смілка В.А.* Взаємодія кадастрових та моніторингових систем на місцевому рівні управління 85

ГЕОІНФОРМАТИКА ТА КАРТОГРАФІЯ

10. *Примак Л.В.* Використання відкритих даних про рельєф місцевості в плануванні та оптимізації радіочастотних телекомунікаційних мереж 95
11. *Атаманенко Ю.Ю.* Концептуальна модель бази геопросторових даних для реєстрації та картографування ДТГП 104

ФОТОГРАММЕТРІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

12. *Мельник О.В., Волошин В.У., Манько П.В., Волошин М.В.* Класифікація території НПП “Прип’ять-Стокід” за даними SENTINEL-2 116
13. *Бурак К. О., Гера О.В., Ковтун В. М., Дорош Л. І.* Щодо питання точності векторизації космічних знімків 128

ДО ВІДОМА АВТОРІВ 141

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

1. *Samoilenko A., Sykal S.* Development of measures to create a system of coordinate-time provision of Ukrzaliznytsia work by geodetic methods 7
2. *Kucher O., Starovierov V., Kovalov M.* Analysis of influence of earth surface displacements on stability of coordinate systems 19
3. *Nesterenko O., Savchuk I.* Development perspective of the technical regulation system in the field of geodesy, cartography, land management and geoinformatics in Ukraine 25
4. *Kovtun V.* Calculating the deviation of vertical steel tank walls from verticality 32
5. *Starovierov V., Nikitenko K.* Calculation of parameters of the aerophotography in passposition of magistral pipeline 45
6. *Gladilin V., Dubkova A., Chulanov P., Shudra N.* Deformations models from physical process 52
7. *Tereshchuk O., Kryachok S.* Analysis of criteria for accounting residual systematic errors in the results of double equalized measurements 63
8. *Medvedskyi Y.* Use of autoregression in the problem of observation of sediments of structures 74

CADASTRE AND MONITORING OF LANDS

9. *Smilka V.* Interaction of cadastre and monitoring systems at local level of management 85

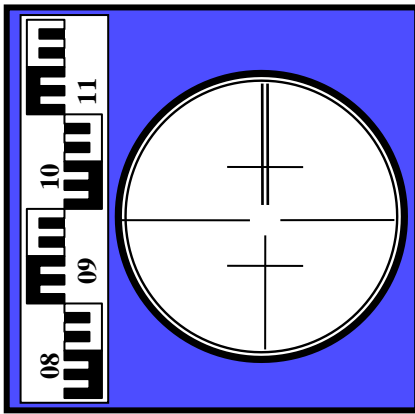
GEOINFORMATICS AND CARTOGRAPHY

10. *Prymak L.* The use of dem open datasources for the purposes of radio network planning and optimization 95
11. *Atamanenko Yu.* Conceptual model bases of geoprostatic data for registration and cartographing of accident 104

PHOTOGRAMETRY AND EARTH REMOTE SENSING

12. *Melnyk O., Voloshyn V., Manko P., Voloshyn M.* Classification of land cover for NPP "Pripyat-Stokhid" according to SENTINEL-2 data 116
13. *Burak K., Gera O., Kovtun V., Dorosh L.* On the question of accuracy of satellite imagery vectorization 128

NOTED AUTHORS 141



ГЕОДЕЗІЯ

УДК 528.48

<https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.66.7-18>

О.М. Самойленко, *д-р техн. наук, професор,
директор науково-виробничого інституту геометричних,
механічних та віброакустичних вимірювань
ДП “Укрметртестстандарт”*,
С.А. Сикал, *аспірант кафедри інженерної геодезії
Київський національний університет будівництва і архітектури*

РОЗРОБЛЕННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ КООРДИНАТНО-ЧАСОВОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ УКРЗАЛІЗНИЦІ ГЕОДЕЗИЧНИМИ МЕТОДАМИ

У статті розглянуто питання, пов'язані з виконанням комплексу геодезичних робіт з метою створення системи координатно-часового і навігаційного забезпечення роботи Укрзалізниці та наведено її структуру. Запропоновано нові системи координат УСКУ-20XX та КСКУ-20XX, які дають змогу швидко, точно й однозначно ідентифікувати положення колії та інших об'єктів як у плані, так і в просторі.

Ключові слова: залізнична колія, системи координат, нормативні документи, геодезичні мережі, ГНСС-приймачі.

Вступ. Підвищення швидкості руху залізницею України за одночасного підвищення безпеки руху та зниження експлуатаційних витрат є неможливим без застосування найсучасніших досягнень вимірювальних, комунікаційних та інформаційних технологій. Один з шляхів впровадження цих технологій – створення *Системи координатно-часового забезпечення роботи Укрзалізниці (далі – Система)*, призначеної для збирання, зберігання, оброблення та комплексного використання службами та підрозділами Укрзалізниці усієї інформації, яка так чи інакше пов'язана з просторовими координатами її об'єктів та їх зміною в часі. Економічний і соціальний ефект, який буде досягнутий завдяки створенню Системи, робить завдання з її розроблення вельми актуальним.

Система наповнюється та використовується всіма службами і підрозділами Укрзалізниці та залізниць України (колійного господарства, центру механізації

© О.М. Самойленко, С.А. Сикал, 2019

колійних робіт, енергозабезпечення, управління майном тощо). Кожна з них постачає у Систему та бере з неї свою специфічну інформацію, але у прив'язці до координат і часу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вирішення завдань для дотримання вимог, зазначених в документах [1] і [2], а також описаних у наукових публікаціях [9] і [10], щодо розбудови залізничних колій Європи, та зокрема України, організації на них безпечного руху є неможливим без створення Системи координатно-часового забезпечення роботи Укрзалізниці, адже подібної системи в Україні немає. Описані в Директиві [1] завдання, які дістали конкретні формулювання у нормативному документі [2], належать до пріоритетів державної політики на найближчу перспективу з метою формування єдиного інформаційного простору держави.

Опрацювавши нормативні документи Укрзалізниці (інструкції, технічні вказівки, положення, правила і технології) [4-8], можна дійти висновку, що вони взагалі не описують новітніх технологій із застосуванням сучасних геодезичних приладів і навігаційних систем і потребують переопрацювання. Наведемо тільки деякі застарілі положення цих документів:

- рихтування кривої, яка має малі відхилення II і більшого ступенів, виконується на «око» або з використанням шляхового рихтувального приладу (ПРП) [6, с. 50]. ПРП не є геодезичним приладом високої точності і з його допомогою неможливо контролювати положення осі колії на всій кривій (а тільки локально) з точністю, достатньою для вирішення сучасних задач збільшення швидкості і безпечності руху;

- стан кругової та перехідних кривих визначається за результатами вимірювань стріл вигину, коли як хорда використовується шнур з капронової нитки, а стріла вигину вимірюється лінійкою, графоаналітичним способом визначається місцеположення характерних точок та геометричні параметри кривої – радіус, довжини перехідних кривих, величини підвищення [6, с. 39-49]. Знову-таки контроль параметрів кривої виконується локально, а точність такої процедури – незадовільна;

- у «Технічних вказівках» [8, с. 20], зазначено, що пікети і кілометри відмічаються на стрічці автоматично у вигляді засічок. Ці засічки, як правило, не збігаються з фактичними місцями розташування пікетних і кілометрових знаків через похибки, пов'язані з конструкцією вагона та встановленням знаків, або за наявності пікетів, довжина яких не дорівнює 100 м. Це також не є прийнятним, тому що неможливо на місцевості точно ідентифікувати, де знаходиться визначений приладами вагона дефект чи відхил;

- винесення пікетажу в натуру не є достатньо точним і добре закріпленим: його можуть зображувати на опорах контактної мережі, фарбуванням шпал у білий колір (1 штука – пікет, 2 штуки – кілометр), а у визначенні кошторисної вартості будівництва нової ділянки залізниці пікетажні стовпчики не входять в загальну вартість будівництва, що автоматично вказує на те, що їх не встановлюють. Під час створення Системи фізичне закріплення пікетажу буде непотрібним, але треба буде відходити від застарілих тлумачень цього поняття і переходити до так званих колійних координат, які математично точно ув'язані з

іншими системами координат і можуть бути інструментально відтворені геодезичними приладами з похибкою у декілька сантиметрів;

- в інструкції ЦПО269 [4, с. 29] зазначено, що на всіх кривих ділянках колії початок і кінець кругової кривої позначають білою олійною фарбою на шийці рейки відповідними записами ПКК та ККК, а з високою вантажонапруженістю та високою інтенсивністю руху поїздів потрібно встановлювати постійні знаки (репери), що позначають початок і кінець кругової кривої. Але пікетажні значення і координати цих знаків математично не обраховані за результатами інструментальних вимірювань тахеометрами та ГНСС-приймачами. У випадку застосування сучасних засобів вимірювань, обрахунків і зберігання даних в Системі треба замислитись про необхідність їх встановлення взагалі, тому що вони дорогі в утриманні.

Що стосується наукових праць [9; 10], то в них розглянуто світовий досвід впровадження швидкісного залізничного руху в різних країнах світу та перспективи його розвитку в Україні [9, с. 470-476], [10, с. 23-25]. Зокрема, висвітлено такі питання:

- будівництво самостійних швидкісних ліній;
- реконструкція наявних залізниць;
- збільшення швидкості рухомого складу завдяки скороченню зупинок тощо.

Та, як бачимо з викладеного, немає жодного слова про координатно-часове забезпечення роботи Укрзалізниці. Автори, на жаль, не знайшли публікацій, у яких була б описана аналогічна система, створена в іншій країні і на досвід створення якої можна було б спиратися. Але описане в статтях застосування ГНСС-приймачів на залізницях різних країн опосередковано вказує на те, що такі системи в тому чи іншому вигляді повинні існувати.

Постановка завдання. Завданням публікації є розроблення основних теоретичних засад створення Системи координатно-часового забезпечення роботи Укрзалізниці та її впровадження в практику.

Основна частина. Розроблення Системи полягає у створенні ефективної технічної й організаційної структури для збирання, зберігання і використання інформації про об'єкти Укрзалізниці, пов'язаної з просторовими координатами та їх зміною у часі, яка за повнотою, точністю, структурою є відповідною вимогам всіх служб і підрозділів Укрзалізниці, наповнюється та використовується ними.

Система повинна забезпечувати координування в державній, міжнародній, колійній та інших системах координат необхідної вимірювальної та іншої інформації Укрзалізниці з точністю, заданою нормативними документами Укрзалізниці, іншими чинними в Україні нормативними документами. Система покликана забезпечувати математично коректні перерахунки координат з системи до системи координат у будь-якій комбінації.

Система повинна забезпечувати збирання вимірювальної та іншої необхідної інформації, а також її надійне зберігання і накопичення у встановлених у нормативно-методичних документах Укрзалізниці системах координат і форматах даних.

Система, що розробляється, умовно поділяється на три великих сегменти:

- *нормативно-методичний*, який охоплює інструкції, методичні та технічні вказівки щодо методик вимірювання й оброблення їх результатів, збирання та визначення форматів представлення інформації, її зберігання та використання тощо;

- *матеріально-технічний*, який включає прилади для збирання та реалізування координатно-часової інформації – мережа базових станцій Глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС), пересувні ГНСС-приймачі, зокрема на колієвимірювальних візках та рухомому складі, геодезичні сканери, електронні тахеометри, колієвимірювальні вагони тощо;

- *комунікаційно-інформаційний*, який складається із засобів передавання й оброблення результатів вимірювань, різноманітного програмного забезпечення для подальшого оброблення, зберігання, представлення та використання інформації на базі геоінформаційних систем (ГІС).

Як вже було сказано, наявна нормативно-методична база Укрзалізниці застаріла і не відповідає потребам часу, тому необхідно виконати велику роботу з її модернізації і розробленню ряду нових документів. Отже, *нормативно-методичний* сегмент Системи повинен містити директивні і методичні документи, які встановлюють:

- взаємопов'язані і зручні для використання системи координат Укрзалізниці, насамперед колійної, пов'язані з державною та всесвітньою геодезичними системами координат;

- методики і норми точності побудови геодезичної мережі Укрзалізниці та її зв'язок з державною та всесвітньою геодезичною мережею;

- нормативно-методичні документи з топографічних і кадастрових знімків, вимірювань геометричних та інших параметрів колії, контактного проводу тощо;

- методики та норми точності вимірювання координатно-часових характеристик об'єктів (координат точок на рейках колій, верхній будові шляху, об'єктах інфраструктури тощо);

- методики оброблення результатів вимірювання і форми представлення результатів координатно-часових характеристик об'єктів (геометричних параметрів прямих, кругових та перехідних кривих в плані та профілі, геометричних параметрів контактної мережі в прив'язці до осі колії, координат стовпів, семафорів, стрілкових переходів тощо);

- формати здавання в базу даних і зберігання результатів вимірювань й оброблення координатно-часових характеристик об'єктів та пов'язаною з нею інформацією;

- методики використання координат і координатно-часових характеристик об'єктів.

Нормативно-методичні документи є обов'язковими для всіх підрозділів Укрзалізниці й організацій і підприємств усіх форм власності, які Укрзалізниця залучає до виконання робіт з координатно-часовою інформацією.

Ефективність застосування Системи координатно-часового забезпечення роботи Укрзалізниці безпосередньо залежить від стратегічного рішення щодо

вибору систем координат, які будуть застосовуватися для її створення й експлуатування.

Декілька слів докладніше щодо наявних систем координат і пропонуваннях.

Всесвітня геодезична система координат (неофіційна назва всіх Земних взаємопов'язаних систем координат) втілюється через світову геодезичну систему WGS-84, Міжнародну земну референцну систему – International Terrestrial Reference System (ITRS) та європейську земну референцну систему 1989 року ETRS89 [3]. ITRS реалізується на певні часові епохи у вигляді Міжнародної земної референцної системи відліку International Terrestrial Reference Frame (наприклад, остання ITRF2015 на епоху 2015 року). ГНСС-приймачі вимірюють просторові координати X, Y, Z в ITRF на останню епоху. За ними розраховують геодезичні координати - геодезична широта, довгота та висота B, L, H^G – на відліковому еліпсоїді Геодезичної референцної системи 1980 року GRS-80 або його більш пізній реалізації. Всі названі системи мають чіткий математичний зв'язок через параметри переходу з системи в систему координат. Недоліком цих систем є те, що їх застосування на практиці ускладнене тим, що вісь Z збігається з усередненим на епоху положенням осі обертання Землі, а площина XY – з усередненим на епоху положенням площини екватора. Для практичних цілей потрібно переходити до плоских прямокутних декартових координат на поверхні землі.

Державна геодезична референцна система координат УСК-2000 [3] також математично пов'язана з всесвітньою системою через ITRF2000 (утворена від неї), але за відліковий еліпсоїд в ній взято референц-еліпсоїд Красовського з іншими параметрами. За геодезичними координатами у цій системі розраховують плоскі конформні координати у проекції Гаусса – Крюгера, які становлять основу картографування країни, топографічних і кадастрових зніманих, а також утворення інших місцевих систем, тобто і для Укрзалізниці ця система також є обов'язковою для зазначених видів робіт. Недолік УСК-2000 – досить складні додаткові розрахунки під час переходу з еліпсоїда GRS-80 на референц-еліпсоїд Красовського і назад. Проблему також створюють великі викривлення масштабу на краю шестиградусних зон, пов'язані з проектуванням еліпсоїда на площину, а також розворот прямокутної сітки відносно напрямку на північ. Крім того, Україна поділена на чотири шестиградусних зони та сім триградусних (вони потрібні для складання великомасштабних карт і топографічних планів). Через це на краях зони точки мають координати в системах координат двох зон, а також і в системах координат шести- і триградусних зон, що для визначення координат в реальному часі видається незручним.

Від згаданих недоліків вільною є запропонована авторами цієї публікації *Умовна система координат Укрзалізниці УСКУ-20XX* [11]. Вона будується на еліпсоїді GRS-80 або більш пізніх його реалізаціях. Горизонтальні координати в ній обчислюють в проекції Гаусса – Крюгера для кожного окремого структурного елемента колії – прямих, перехідних та кругових кривих. Ця система є проміжною між *ITRF* і *УСК-2000*, тому координати відносно можна легко перерахувати із системи в систему координат. Кожній точці в межах України (і не тільки) надається одна пара координат, що вигідно її відрізняє від *УСК-2000*. Ця система

не дає координати в проекції на площину загалом у країні, але на деякій локальній ділянці, на якій різницею між координатами на площину в проекції Гаусса – Крюгера в її класичному застосуванні і координатами у запропонованій системі можна знехтувати.

Уведення в дію *УСКУ-20XX* дасть змогу впровадити також запропоновану авторами цієї публікації *Колійну систему координат Укрзалізниці КСКУ-20XX* [11]. Ця система координат однозначно математично пов'язана через *УСКУ-20XX* з всесвітньою і державною геодезичними референцними системами. Горизонтальною віссю x_k в *УСКУ-20XX* на еліпсоїді GRS-80 є апроксимована на певну епоху вісь колії, а віссю y_k – відстань від осі колії перпендикулярно до неї. Така система координат дасть можливість в режимі реального часу розраховувати пікетажне значення і відстань до осі колії будь-якого ГНСС-приймача за результатами його вимірювань в *ITRF*, що знаходиться в русі на колії або встановлений чи рухається поблизу неї. Під час побудови геодезичних мереж і знімання колії за пропонуваними методами і з похибками в наведеній далі таблиці похибка вимірювань колійних координат в будь-якій точці країни може не перевищувати декількох сантиметрів, а від найближчих точок – міліметрів. Треба зазначити, що колійні координати слід розраховувати не тільки в проекції на відліковий еліпсоїд GRS-80, а й у просторі за віссю колії як лінії, що усереднює положення рейок в плані і за висотою.

Таким чином, впровадження *УСКУ-20XX* і *КСКУ-20XX* дасть можливість всім службам, підприємствам і підрозділам Укрзалізниці, а також субпідрядникам швидко, точно й однозначно ідентифікувати положення в плані й у просторі не тільки будь-яких об'єктів (стрілочних переходів, стовпів, перонів, меж земельних ділянок тощо), а й проблем, які виникли, зокрема деформацій рейкових колій відносно останнього знімання, положення дефектів рейок під час їх дефектоскопіювання, місць і величин зміщення контактного проводу. Докладний перелік завдань, які можуть бути вирішені, займе не одну сторінку.

Матеріально-технічний сегмент Системи повинен включати різноманітні засоби вимірювальної техніки, за допомогою яких вимірюють координати під час збирання та використання координатно-часової інформації:

- геодезичні ГНСС-приймачі на пунктах мережі базових станцій, яка підтримує із заданою точністю систему координат на всій території України та забезпечує із заданою точністю визначення координат будь-яких інших ГНСС-приймачів під час виконання конкретних робіт;

- геодезичні ГНСС-приймачі і сканери, які використовуються персоналом як у ручному статичному режимі, так й у динамічному режимі, коли вони закріплені на колієвимірювальних візках або вагонах;

- ручні прилади, візки та вагони для вимірювання положення контактного дроту та інших дротів відносно осі колій;

- інші геодезичні прилади - електронні тахеометри та нівеліри;

- навігаційні ГНСС-приймачі на рухомому складі Укрзалізниці, підбивочних машинах, дефектоскопічних візках тощо.

На теперішній час значна частина рухомого складу підбивочних машин і дефектоскопічних візків оснащена навігаційними ГНСС-приймачами, але без

високоточного координування всіх колій за допомогою високоточних геодезичних ГНСС-приймачів та виконання інших заходів, передбачених створенням Системи, неможливо досягти того ефекту, який би міг бути досягнений.

Зважаючи на великі витрати, пов'язані зі створенням мережі базових ГНСС-станцій для потреб Укрзалізниці, можуть бути залучені державні, наукові та приватні аналогічні мережі чи їх окремі пункти у разі дотримання вимог Укрзалізниці до таких мереж. Умови включення таких мереж і окремих пунктів, й їх експлуатації, комерційної складової тощо, обумовлюються відповідними договорами. За потреби обчислені проектні чи апроксимовані координати легко перераховуються і в *ITRF*, і в *УСК-2000*. Такий підхід дає змогу під час вимірювання ГНСС-приймачами у режимі реального часу однозначно одержувати координати в *УСКУ-20XX* у будь якій точці країни.

Комунікаційно-інформаційний сегмент повинен передбачати як режим обробки результатів вимірювань з метою визначення місцеположення після їх виконання, так й оброблення і передавання результатів вимірювань в режимі реального часу із затримками, що не перевищують нормативно встановлених методичною документацією, а також забезпечувати передавання інформації з будь-якої точки України у будь-яку точку.

Таким чином, *комунікаційно-інформаційний* сегмент охоплює:

- засоби зв'язку (радіозв'язок, провідний зв'язок, Internet, GSM-зв'язок)
- засоби комп'ютерної техніки для збирання, зберігання та використання даних;
- програмне забезпечення для оброблення результатів вимірювань та введення їх до локальних баз даних та загальної бази даних на основі геоінформаційних систем (ГІС);
- програмне забезпечення для використання даних з локальних баз даних та загальної бази даних на основі ГІС;
- для передавання в центр оброблення результатів вимірювань ГНСС-приймачами на базових станціях.

Технічні, обчислювальні, комунікаційні, програмні та інші засоби Системи повинні забезпечувати визначення геодезичних і колійних координат та нормальних висот над квазігеоїдом, а також часу цих визначень, будь-якого рухомого чи статичного об'єкта Укрзалізниці із заданою для цих об'єктів точністю.

Система містить такі підсистеми:

- геодезична мережа Укрзалізниці;
- топографічні плани та карти;
- землевпорядкування та земельний кадастр;
- план і профіль колії та її інші геометричні параметри;
- об'єкти енергозабезпечення;
- об'єкти інфраструктури тощо.

Середня квадратична похибка (СКП) або межі допустимої похибки та діапазон роботи вимірювальних складових системи встановлюються експлуатаційною та нормативно методичною документацією на них.

Основні визначувані системою параметри, діапазони та похибки вимірювання геодезичних і колійних координат пунктів геодезичної мережі, точок осі та рейок колії, точок на інших об'єктах Укрзалізниці наведено в таблиці.

Таблиця

Похибки під час вимірювання геодезичних та колійних координат

№ п/п	Найменування параметра Системи, координати якого визначаються (режим вимірювань)	Діапазон вимірювання	СКП вимірювання
1	Геодезичні координати пунктів перманентної ГНСС-мережі один відносно одного: - горизонтальні - вертикальні (відносний перманентний режим вимірювань ГНСС)	від 40 км до 1500 км	$(10 + 0,01 \cdot L)$ мм $(20 + 0,05 \cdot L)$ мм
2	Геодезичні і колійні координати пунктів основної ГНСС-мережі один відносно одного та пунктів перманентної геодезичної мережі: - горизонтальні - вертикальні (відносний статичний режим вимірювань ГНСС)	від 5 км до 40 км	$(5 + 0,5 \cdot L)$ мм $(10 + 1,0 \cdot L)$ мм
3	Геодезичні і колійні координати пунктів мережі згущення один відносно одного та пунктів основної та перманентної геодезичної мережі: - горизонтальні - вертикальні	від 0,2 км до 5 км	$(5 + 0,5 \cdot L)$ мм $(10 + 1,0 \cdot L)$ мм
4	Геодезичні і колійні координати осі колії та інших точок відносно пунктів мережі згущення, основної, перманентної геодезичної мережі та один відносно одного: - горизонтальні - вертикальні (відносний кінематичний режим вимірювань ГНСС, зокрема в реальному часі)	від 1 м до 20 км	$(10 + 1,0 \cdot L)$ мм $(20 + 2,0 \cdot L)$ мм
5	Геодезичні і колійні координати осі колії, рейок та їх елементів під час високоточного знімання швидкісних ділянок колії відносно пунктів мережі згущення, основної, перманентної мережі й один відносно одного: - горизонтальні - вертикальні (відносний режим вимірювань високоточним тахеометром у реальному часі)	від 1 м до 400 м	$(1 + 1,0 \cdot L)$ мм $(1 + 1,0 \cdot L)$ мм

6	Геодезичні і колійні координати точок на інших об'єктах відносно пунктів мережі згущення, основної, перманентної мережі, колії й один відносно одного під час топографічних та кадастрових зніманих, будівельних робіт: - горизонтальні - вертикальні (всі режими відносних вимірювань ГНСС, координування тахеометром, сканером, аерофотозніманням тощо)	від 1 м до 1 км	(25 + 25·L) мм (25 + 25·L) мм
7	Геодезичні і колійні координати рухомого складу (автономний диференційний режим вимірювань у реальному часі)	На всій території країни	1 м
8	Геодезичні і колійні координати рухомого складу (автономний навігаційний режим вимірювань у реальному часі)	На всій території країни	10 м

Примітка: L – вимірювана довжина, км.

Висновки. Запропонована Система дає можливість:

- збирати, зберігати й ефективно використовувати інформацію про об'єкти Укрзалізниці, пов'язані з просторовими координатами та їх зміною у часі;
- забезпечувати координування в державній, всесвітній (міжнародній), колійній та інших системах координат усіх об'єктів Укрзалізниці;
- виконувати математично коректні перерахунки координат з системи до системи у будь-якій комбінації;
- за єдиними правилами наповнювати базу даних Системи і використовувати цю інформацію всіма службами та підрозділами Укрзалізниці;
- переводити інформацію до Єдиної державної бази даних;
- підвищити точність і достовірність визначення координат об'єктів Укрзалізниці, що особливо важливо для геометричних параметрів рейкової колії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Директива 2008/57/ЄС* європейського парламенту та ради від 17 червня 2008 року про оперативну сумісність/ інтегрованість залізничних систем у межах Співтовариства (оновлена).
2. *Розпорядження* «Про схвалення Концепції реалізації державної політики України у сфері космічної діяльності на період до 2032 року» – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/>
3. *Порядок* побудови Державної геодезичної мережі. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 7 серпня 2013 р. № 646.
4. *Інструкція* з улаштування та утримання колії залізниць України /Е.І. Даніленко та інші. – Київ: ТОВ «Поліграфсервіс», 2012. – 456 с.

5. *Інструкція з забезпечення безпеки руху поїздів при виконанні колійних робіт на залізницях України* / Е. І. Даніленко та ін.; Державна адміністрація залізничного транспорту України. Головне управління колійного господарства. – Київ: Транспорт України, 2012. – 110 с.

6. *Правила і технологія виконання робіт при поточному утриманні залізничної колії* / Е. І. Даніленко, та ін.; Державна адміністрація залізничного транспорту України. Головне управління колійного господарства. – Київ: Транспорт України, 2002. – 156 с.

7. *Положення про проведення планово-запобіжних ремонтно-колійних робіт на залізницях України* / Е. І. Даніленко та ін.; Державна адміністрація залізничного транспорту України. Головне управління колійного господарства. – Київ: Транспорт України, 2004. – 40 с.

8. *Технічні вказівки щодо оцінки стану рейкової колії за показниками колієвимірювальних вагонів та забезпечення безпеки руху поїздів при відступах від норм утримання рейкової колії (зі змінами та доповненнями у відповідності до наказу від 01.12.2004р. № 917-ЦЗ)* / Міністерство Транспорту України. – Київ, 2005. – 48 с.

9. *Полтавська О.С.* Світовий досвід розвитку залізничного транспорту та перспективи його розвитку в Україні / О.С. Полтавська // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2014. – №797. – С. 470-476.

10. *Возненко А.Д.* Досвід зарубіжних країн в проведенні колієвимірювальних робіт при будівництві та експлуатації швидкісних магістралей / А.Д. Возненко// Збірник наукових праць ДЕГУТ.– 2011 - №19. – С. 23-25.

11. *Самойленко О.М.* Основні принципи створення та використання колійної системи координат Укрзалізниці КСКУ – 20XX / О.М. Самойленко, С.А. Сикал // Інженерна геодезія. – 2017. – Вип. 64. – С.44-55.

REFERENCES

1. *Dyrektyva 2008/57/yes yevropejskogo parlamentu ta rady vid 17 chervnyu 2008 roku pro operatyvnu sumisnist interoperabelnist zaliznychnykh system u mezhas Spivtovarystva (onovlenu)[Directive 2008/57 / EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 on interoperability of rail systems within the Community (updated)].* [in Ukrainian].

2. *Rozporiadzhennia: «Pro skhvalennia Kontseptsii realizatsii derzhavnoi polityky Ukrainy u sferi kosmichnoi diial'nosti na period do 2032 roku» [The Order "On Approval of the Concept for the Implementation of the State Policy of Ukraine in the Sphere of Space for the Period until 2032"]*. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/>. [in Ukrainian].

3. *Poriadok pobudovy Derzhavnoi heodezychnoi merezhi [Procedure for construction of the State Geodetic Network]*, Zatverdzheno postanovoiu Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 7 serpnia 2013 r. № 646. Retrieved from <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-p>. [in Ukrainian].

4. *Danilenko, E. I. et al. (2012). Instruktziia z ulashtuvannia ta utrymannia kolii zaliznyts' Ukrainy [Instruction on the arrangement and maintenance of the railways of*

Ukrain], Kyiv: TOV «Polihrafservis» [in Ukrainian].

5. Danilenko, E. I. et al. (2012). *Instruktsiya z zabezpechennya bezpeki ruhu poyizdiv pri vikonanni koliynih robit na zaliznitsyah Ukrayini* [Instructions for ensuring the safety of trains when performing track operations on the Ukrainian railways], Kyiv: Transport Ukrainy [in Ukrainian].

6. Danilenko, E. I. et al. (2002). *Pravyla i tekhnolohiia vykonannia robit pry potochnomu utrymanni zaliznychnoi kolii* - [Rules and technology for performing work under the current maintenance of the railroad], Kyiv: Transport Ukrainy [in Ukrainian].

7. Danilenko, E. I. et al. (2004). *Polozhennya pro provedennya planovo-zapobizhnyx remontno-kolijnyx robit na zaliznytsyah Ukrayiny* - [Regulations on carrying out scheduled maintenance and repair works on the railways of Ukraine], Ministerstvo Transportu Ukrayiny, Kyiv: Transport Ukrainy [in Ukrainian].

8. Harkivska derzhavna akademiya zaliznichnogo transportu. (2005). *Texnichni vkazivky shhodo ocinky stanu rejkovoyi kolii za pokaznykamy koliyevymiryvalnyx vagoniv ta zabezpechennya bezpeky ruxu poyizdiv pry vidstupax vid norm utrymannya rejkovoyi kolii (zi zminamy ta dopovnennyamy u vidpovidnosti do nakazu vid 01.12.2004r. № 917-CzZ)* - [Technical instructions for assessing the track gauge in terms of track gauge and ensuring trains' safety when deviating from the track gauge (with amendments and additions in accordance with the order of 01.12.2004. No. 917-CZ)], Kyiv: Transport Ukrainy [in Ukrainian].

9. Poltavska O.S. (2014). *Svitovyj dosvid rozvytku zaliznychnogo transportu ta perspektyvy jogo rozvytku v Ukrayini* - [World experience of development of railway transport and prospects of its development in Ukraine] *Visnik Natsionalnogo universitetu "Lvivska politehnika"* - *Bulletin of the Lviv Polytechnic National University*, 797, 470-476 [in Ukrainian].

10. Voznenko A.D. (2011). *Dosvid zarubizhnyx krayin v provedenni koliyevymiryvalnyx robit pry budivnyctvi ta ekspluatatsiyi shvydkisnyx magistralej* - [Experience of foreign countries in the conduct of track measurements in the construction and operation of high-speed railways]. *Zbirnyk naukovykh pracz DETUT* - *Collection of scientific works DETUT*, 19 23-25 [in Ukrainian].

11. Samoilenko O.M., Sykal S.A. (2017). *Osnovni pryntsyipy stvorennia ta vykorystannia koliinoi systemy koordynat Ukrzaliznytsi KSKU – 20XX* [Main principles of creation and use of the collection system of coordinate of Ukrzaliznytsya KSKU - 20XX]. *Inzhenerna heodeziia - Engineering geodesy*, 64, 44 – 55 [in Ukrainian].

А. Н. Самойленко, С. А. Сыкал

**РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ
КООРДИНАТНО-ВРЕМЕННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТЫ
УКРЗАЛИЗНЫЦИ ГЕОДЕЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ**

В статье рассмотрены вопросы, связанные с выполнением комплекса геодезических работ по созданию Системы координатно-временного и навигационного обеспечения работы Укрзалізницьи и приведена ее структура.

Предложены новые системы координат УСКУ-20XX и КСКУ-20XX, которые предоставят возможность быстро, точно и однозначно идентифицировать положение пути и других объектов инфраструктуры как в плане, так и в пространстве.

Ключевые слова: *системы координат, железнодорожный путь, нормативные документы, геодезические сети, ГНСС-приемники.*

A. Samoilenko, S. Sykal

**DEVELOPMENT OF MEASURES TO CREATE A SYSTEM OF
COORDINATE-TIME PROVISION OF UKRZALIZNYTSIA WORK BY
GEODETIC METHODS**

Providing high-speed motion in railways is impossible without the use of the latest achievements of measurements, communications and informations technologies. Therefore, to address this issue, on the introduction of advanced technology, the authors of this publication, the proposed System of Coordinate-Time Provision of Ukraine Railways. This system is roughly divided into three major segments: normative and methodological, equipments and logistics, communications and information. Describe the segments, which includes instructions, measuring instruments, means of transmission and processing of measurement results and more.

In this article is provides a comparative analysis of the existing system of coordinates, and proposed new coordinate system convenient for the Ukraine Railways. Conditional coordinate system USKU-20XX – rectangular coordinate system associated with ITRF2015, and Gauge coordinate system KSKU-20XX in which the horizontal axis x_k is approximated, to a certain epoch, axis of the track and the axis y_k is the distance from the axis lines perpendicular to it. These two systems give opportunity quickly, accurately and uniquely identify position of the track and another objects, both in horizontal plane and in space.

The methods and accuracy of the coordinates of the geodetic network, track and other facilities was valuated too.

Keywords: *coordinate system, railway, regulations, geodetic networks, GNSS receivers.*

Надійшла до редакції

12.02.2018

О.В. Кучер, канд. техн. наук
Науково-дослідний інститут «Геодезії та картографії»,
В.С. Староверов, канд. техн. наук, професор,
М.В. Ковальов, старший викладач кафедри інженерної геодезії
Київський національний університет будівництва і архітектури

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМІЩЕНЬ ЗЕМНОЇ ПОВЕРХНІ НА СТАБІЛЬНІСТЬ КООРДИНАТНИХ СИСТЕМ

Розглянуто причини, що призводять до нестабільності заданої в країні системи координат. Визначено перелік геодезичних задач, для однозначного розв'язання яких потрібно виконувати систематичні дослідження рухів земної поверхні, зважаючи на їх характеристики під час опрацювання результатів геодезичних спостережень.

Розглянуто основні сучасні методи космічної геодезії, які використовують для вивчення всіх можливих впливів (припливних, обертання Землі, зміни гравітаційного поля, рухів полюсів та ін.) на вертикальні та горизонтальні рухи земної поверхні.

Ключові слова: рухи земної поверхні, геодезичні задачі, космічні методи, перманентні станції, кінематична система координат

Постановка проблеми. Як відомо, земна кора складається з семи континентальних літосферних плит і виділених на їх основі дрібніших регіональних літосферних плит. Деякі великі та значна кількість малих плит літосфери товщиною порядку 100 – 200 км через дію конвекційних (теплових) потоків мають спільну тенденцію до зміни свого просторового положення. Інакше кажучи, вони мають тенденцію до переміщення в надрах Землі. Ці переміщення становлять декілька сантиметрів на рік. На межі плит розташовані сейсмічні зони та вулкани.

Рухи плит призводять до зміни положення пунктів планової та висотної основи, розмічених на фізичній поверхні Землі. Таким чином, координати та висоти пунктів, які реалізують задані системи координат і висот, визначених раніше, не будуть відповідними істинному положенню пунктів після деякого періоду від часу їх визначення, загалом на момент їх використання як вихідних. Узгодження істинного положення пункту з його координатами є можливим у разі безперервного (перманентного) відстеження переміщень земної кори й уточнення координат. Територія України розташована на Східноєвропейській літосферній плиті, яка є частиною Євразійської континентальної літосферної плити.

Постановка завдання. Метою статті є розгляд сучасних методів визначення впливу зміщень земної поверхні на стабільність координатних систем.

Виклад основного матеріалу. Для всіх видів геодезичних завдань, пов'язаних з визначенням координат пунктів, потрібно мати стабільну систему, координати пунктів якої дають змогу з належною точністю визначати координати

інших пунктів. Актуальність цієї задачі пояснюється ще й тим, що для виконання землевпорядних і кадастрових робіт обов'язковою є наявність великомасштабних планів як топографічної основи для розв'язання професійних завдань з землеустрою та кадастру. Точність визначення координат регламентується точністю масштабу плану (для масштабу 1:100 – 1 см; для масштабу 1:200 – 2 см і т.д.). Отже, точність визначення координат вихідних пунктів повинна бути не нижчою за точність масштабу топографічного плану.

Переміщення земної поверхні призводить до зміни положення пунктів вихідної системи, внаслідок чого координати пунктів не збігатимуться з істинним положенням цих пунктів.

Задача відповідності координат і положення пунктів може бути розв'язана на основі використання еталонної або стандартної системи координат ITRS/ITRF. Система ITRS і її реалізація ITRF являє собою прямокутну геоцентричну систему координат. У цій системі для опорних пунктів визначено координати, швидкості та їх коваріаційну матрицю. Визначення координат і швидкостей пунктів, на яких виконано геодезичні вимірювання для конкретних геодезичних задач, в ITRF здійснюється вирівнюванням одержаних даних сумісно з опорними пунктами системи.

Система ITRF побудована та розвивається з використанням вимірювань, виконаних за декількома космічними геодезичними технологіями: VLBI (Very Long Baseline Interferometry – Радіоінтерферометрія з наддовгою базою); LLR/SLR (Satellite Laser Ranging – Лазерна локація штучних супутників Землі та Місяця); DORIS (Doppler Orbitography and Radio positioning Integrated by Satellite – Доплерівська супутникова система); GPS (Global Positioning System – Глобальна навігаційна супутникова система).

Міжнародну службу VLBI створено з метою координації та виконання VLBI-спостережень в межах глобальної VLBI-мережі для виконання астрономічних, геодезичних і геофізичних досліджень. Міжнародна служба VLBI виконує роботи зі встановлення та підтримання астрономічних і геодезичних систем відліку, дослідження, пов'язані з визначенням фігури Землі, а також дослідження та моніторинг фундаментальних характеристик Землі, крім того, дає змогу отримати інформацію *про рухи літосферних плит*.

Основним завданням міжнародної служби SLR є надання користувачам даних спостережень і результатів їх опрацювання та супроводження геодезичних і геофізичних досліджень, пов'язаних з вивченням фігури Землі та *рухами її поверхні*. Служба SLR виконує збір, аналіз та накопичення даних, потрібних Міжнародній службі обертання Землі для підтримання на відповідному рівні точності Міжнародної земної референцної системи координат (ITRS).

Міжнародна служба IDS (Міжнародна служба DORIS) була створена для забезпечення користувачів даними спостережень і результатами їх опрацювання, отриманими за допомогою доплерівських спостережень у сфері геодезичних, геофізичних та інших досліджень.

Точність технології DORIS є достатньою для розв'язання наукових і виробничих задач, зокрема таких, як *моніторинг просторових деформацій твердої Землі, моніторинг деформацій земної кори на мареографах*.

Глобальні навігаційні супутникові системи – це комплексні електронно-технічні системи, які складаються з наземного та космічного обладнання, призначеного для визначення місцезнаходження об'єктів на поверхні Землі та в навколоремному просторі. За допомогою глобальних супутникових навігаційних систем можна розв'язати велике коло завдань, одним з яких є *моніторинг просторових деформацій твердої Землі*.

Зрозуміло, що підтримування Міжнародної земної референцної системи координат (ITRS) є неможливим без виконання систематичних безперервних (перманентних) спостережень супутників розгорнутого космічного сегмента (NAVSTAR, ГЛОНАСС) та одержання на підставі таких спостережень координат пунктів у системі ITRS. Станції, на яких виконують такі спостереження, називаються перманентними. Нині майже 500 таких станцій розміщено на поверхні Землі по можливості рівномірно; з них близько 260 станцій знаходяться на території Європи, зокрема 12 станцій розміщено в Україні. Ці станції об'єднані в Українську перманентну мережу спостережень глобальних навігаційних супутникових систем (УПМ ГНСС), яка була створена в 1995 році. Більшість українських станцій належать до мережі Міжнародної GNSS-служби (TGS) та Європейської перманентної GPS-мережі (EPN).

Основними функціями мережі є, зокрема такі: задавання й оперативне відтворення Міжнародної земної референцної системи координат ITRS; задавання й оперативне відтворення Європейської земної референцної системи ETRS; усунення можливих спотворень Державної геодезичної мережі (ДГМ) України, експериментальне виявлення та облік деформаційного впливу геодинамічних процесів на стабільність координатної основи (так зване зведення до єдиної епохи).

Принцип роботи перманентної станції полягає в тому, що, одержуючи інформацію від супутників того чи іншого космічного сегменту кожні 30 секунд, за допомогою спеціального програмного забезпечення обчислюють координати станції в системі координат ITRF. Таким чином, можна вважати, що одержувані координати будуть відповідними істинному положенню станції. Використовуючи координати перманентних станцій як вихідні, в результаті повторного вирівнювання ДГМ можна одержати нові координати пунктів мережі, відповідні істинному положенню всіх пунктів ДГМ.

У Головній астрономічній обсерваторії (ГАО) НАН України створено Операційний центр української перманентної GPS-мережі, функціями якого є:

- супровід роботи перманентних станцій;
- керування даними з перманентних станцій української GPS-мережі.

Отже, облік зміщень земної поверхні, які впливають на стабільність координатної системи, можна виконувати за допомогою перманентних станцій, тим самим сприяти усуненню можливих спотворень державної геодезичної мережі України.

Автор наукового дослідження [1] зазначає, що найбільший вплив на одержувані оцінки швидкостей завдяки використанню ITRF як стандартної або еталонної системи координат має спосіб визначення орієнтації поля швидкостей цієї системи. Визначають орієнтування поля швидкостей системи ITRF за

геолого-геофізичною моделлю NNR – NUVEL – 1A. Для цієї моделі на основі геологічних і геофізичних методів визначено швидкості руху літосферних плит на їх межах. Поле швидкостей у загальноземному масштабі одержують за умови рівності нулю сумарного обертання літосферних плит. У результаті модель NNR – NUVEL – 1A визначає поле швидкостей літосферних плит у загальноземному масштабі – кінематичну систему координат (КСК). Після фіксування земна кора та система координат не мають обертання відносно одна одної.

Множинність уявлень про динаміку літосферних плит призводить до того, що одержана система координат виявляється спотвореною параметрами обраної для фіксування моделі, через що ITRF не можна використовувати як стандартну або еталонну систему, вільну від впливу геологічної інформації, а також порівнювати геологічні і геодезичні дані у геодинамічних дослідженнях. Задача може бути коректно розв'язана за допомогою методу фіксування КСК лише за геодезичними даними, без залучення додаткової інформації про параметри й еволюцію Землі. Автором дослідження [1] було поставлене завдання із створення методу та побудови алгоритмів фіксування КСК за даними космічних геодезичних мереж.

Оскільки координати та швидкості пунктів, на яких були виконані вимірювання за космічними геодезичними технологіями, одержано в умовних системах координат, дані кожної системи самі по собі містять обмеження на якість і кількість визначуваних параметрів. У термінології методу найменших квадратів це має вплив на дефект коваріаційної матриці визначуваних параметрів (координат і швидкостей пунктів). Цей факт дає змогу застосувати для фіксування системи координат параметричний спосіб опрацювання вимірювань з накладанням обмежень різного виду. Вибір обмежень дає можливість зафіксувати КСК відносно геометричного центру Землі у випадку VLBI-вимірювань; зафіксувати КСК відносно земної кори у випадку супутникових систем; об'єднати VLBI та супутникові мережі, що дасть змогу зафіксувати КСК відносно центра мас й обертання Землі; визначити для кожного випадку можливу зміну радіуса Землі, порівняти його з відомими визначеннями за іншими методами.

Розроблений у дослідженні [1] метод фіксування КСК дає можливість систематично коригувати задану систему ITRF і, як наслідок, вважати її стандартною або еталонною системою координат. Розроблений метод фіксування КСК дозволяє вважати систему координат ITRF стабільною.

Висновок. Система перманентних станцій, розміщених у межах території України, а також розроблений метод фіксування кінематичної системи координат дають можливість досягти стабільності заданої в Україні системи координат УСК-2000.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Коломиец А.Г. Разработка методов фиксации кинематической системы координат по данным геодезических измерений: автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.13.18 / А.Г. Коломиец: [Ин-т прикладной математики ДВО РАН]. – Владивосток, 2010. – 18 с.

2. *Краснорылов И.И.* Основы космической геодезии: учеб. пособие / И.И. Краснорылов, Ю.В. Плахов. – М.: Недра, 1976. – 216 с.
3. *Кучер О.В.* Сучасні напрямки геодезичних досліджень зміщень земної поверхні космічними методами / О.В. Кучер, В.С. Староверов, О.Ю. Данилюк // Містобудування та територіальне планування. – 2016. – Вип. 59. – С. 261 – 269.
4. *Романюк В.В.* Геодинамічна інтерпретація вертикальних рухів земної кори Європи, визначених за даними ГНСС-вимірів: автореф. дис. ... канд. техн. наук 05.24.01 / В.В. Романюк: [Національний університет «Львівська політехніка»]. – Львів, 2015. – 18 с.
5. *Яцків Я.С.* Українська мережа станцій космічної геодезії та геодинаміки / Я.С. Яцків, О.В. Болотіна, С.А. Болотін, М.М. Медведський, О.О. Хода, О.Є. Вольвач / Національна академія наук України, Головна астрономічна обсерваторія, 2005. – 60 с.

REFERENCES

1. Kolomiets, A.G. (2010). Razrabotka metodov fiksatsii kinematicheskoi sistemy koordinat po dannym geodezicheskikh izmerenii [Development of methods for fixing the kinematic coordinate system according to geodetic measurements]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Vladivostok: Institut prikladnoi matematiki DVO RAN [in Russian].
2. Krasnorylov, I.I., & Plakhov, Yu. V. (1976). *Osnovy kosmicheskoi geodezii* [Basics of space geodesy]. Moskva: Nedra [in Russian].
3. Kucher, O.V., Starovierov, V.S., & Danyliuk, O.Yu. (2016). Suchasni napriamky geodezychnykh doslidzhen zmishchen zemnoi poverkhni kosmichnymy metodamy [Modern directions of geodetic studies of displacements of the Earth's surface by space methods]. *Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia – Urban and territorial planning*, 59, 261 – 269 [in Ukrainian].
4. Romaniuk, V.V. (2015). Geodynamichna interpretatsiia vertykalnykh rukhiv zemnoi kory Yevropy, vyznachenykh za danymy GNSS-vymiriv [Geodynamic interpretation of vertical movements of the Earth's crust of Europe, determined according to GNSS measurements]. *Extended abstract of candidate's thesis*. Lviv: Natsionalnyi universytet "Lvivska politekhnika" [in Ukrainian].
5. Yatskiv, Ya.S., Bolotina, O.V., Bolotin, S.A., Medvedskii, M.M., Khoda, O.O., & Volvach, O.Ye. (2005). *Ukrainska merezha stantsii kosmichnoi geodezii ta geodynamiky* [Ukrainian network of stations of space geodesy and geodynamics]. Natsionalna akademiia nauk Ukrainu, Golovna astronomichna observatoriia [in Ukrainian].

О.В. Кучер, В.С. Староверов, Н.В. Ковалев
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СМЕЩЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ
НА СТАБИЛЬНОСТЬ КООРДИНАТНЫХ СИСТЕМ

Рассмотрены причины, которые приводят к неустойчивости заданной в стране системы координат. Определен перечень геодезических задач, для однозначного решения которых необходимо проводить систематические

исследования движения земной поверхности и учитывать их характеристики при обработке результатов геодезических наблюдений.

Рассмотрены основные современные методы космической геодезии, которые используют для изучения всех возможных влияний (приливных, вращение Земли, изменение гравитационного поля, движения полюсов и т. д.) на вертикальные и горизонтальные движения земной поверхности.

Ключевые слова: *движения земной поверхности, геодезические задачи, космические методы, перманентные станции, кинематическая система координат*

O. Kucher, V. Starovierov, M. Kovalov

ANALYSIS OF INFLUENCE OF EARTH SURFACE DISPLACEMENTS ON STABILITY OF COORDINATE SYSTEMS

The reasons that lead to instability of a given coordinate system in the country are considered.

A list of geodesic tasks has been defined, for an unambiguous solution of which it is necessary to conduct systematic studies of the movement of the Earth's surface and take their characteristics into account when processing the results of geodetic observations.

The modern basic methods of space geodesy are considered, which are used when studying all possible influences (tidal, Earth rotation, changes of gravitational field, the movement of poles, etc.) when studying vertical and horizontal movements of the Earth's surface.

It is noted that the ITRS coordinate system and its implementation on the Earth's surface in the form of more than five hundred points are used as a standard or reference coordinate system. Stations that implement the ITRF coordinate system, operate continuously in automatic mode, are called permanent stations.

The basic principle of operation of permanent stations is considered, which makes it possible every thirty seconds to update the coordinates of stations in the ITRF coordinate system and thereby eliminate possible distortions of the State Geodetic Network of Ukraine.

The possibility of using the method of fixing the kinematic coordinate system is shown, that makes possible to consider the ITRF coordinate system as a stable system and the possibility of using it as a standard or reference system.

Keywords: *earth motions, geodesic tasks, space methods, permanent stations, kinematic coordinate system*

Надійшла до редакції

21.02.2019

О. В. Нестеренко, канд. техн. наук, доцент,

І. А. Савчук, аспірант

кафедра геоінформатики і фотограмметрії

Київський національний університет будівництва і архітектури

ПЕРСПЕКТИВА РОЗВИТКУ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ У СФЕРІ ГЕОДЕЗІЇ, КАРТОГРАФІЇ, ЗЕМЛЕУСТРОЮ ТА ГЕОІНФОРМАТИКИ В УКРАЇНІ

Розглянуто основні поняття, положення та принципи ДСТУ ISO 9001:2015 Системи управління якістю. Вимоги. Проаналізовано основний документ з якості, який застосовується в топографо-геодезичній сфері – „Інструкцію про порядок контролю і приймання топографо-геодезичних та картографічних робіт”. Визначено основні етапи контролю якості робіт відповідно до інструкції, встановлено наявність всіх ланок циклу Шухарта–Демінга в межах контролю приймання готової продукції. Виявлено брак заходів для покращення якості продукції й оперативного реагування з метою запобігання недолікам та їх усуненню. Встановлено необхідність впровадження системи менеджменту якості на підприємствах топографо-геодезичної сфери та сфери земельних відносин.

Ключові слова: ISO 9001, системи управління якістю, процесний підхід, земельні відносини.

Вступ. Упродовж останніх десятиліть Україна стрімко нарощує потужності у сфері інформаційних технологій, це особливо помітно в топографо-геодезичній сфері, зокрема у сфері земельних відносин. Національна кадастрова система, містобудівний кадастр є основними показниками переходу до сучасних тенденцій у створенні єдиного інформаційного простору в топографо-геодезичній сфері.

Для того щоби підтримувати конкурентоспроможний рівень, зокрема у сфері земельних відносин, відповідно до міжнародних стандартів, в Україні має бути досягнутий належний рівень підтвердження відповідності якості геопросторових даних. Останніми роками законодавство України у сфері стандартизації зазнало значних змін, зокрема, ухвалено ряд нових законів, а також внесено зміни у чинні законодавчі акти, такі як закони України «Про підтвердження відповідності», «Про стандартизацію», «Про технічні регламенти та оцінку відповідності», «Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність», «Про землеустрій» та ін. Зміни відбуваються в напрямі розвитку системи технічного регулювання в Україні. Одним з головних напрямів такого розвитку є розроблення та впровадження системи менеджменту якості відповідно до стандартів ISO серії 9000.

Зважаючи на різноманітність послуг, кінцевої продукції, технологій створення даних, питання контролю якості і створення єдиної системи є актуальним для топографо-геодезичної сфери та сфери землеустрою України.

Окрім того, топографо-геодезична сфера є дуже динамічною: в ній постійно розвиваються нові технології, методи, прилади для отримання й оброблення даних тощо. Це все потребує швидкого реагування та внесення коригувальних дій в процедури підтвердження якості створюваної продукції.

Впровадження системи менеджменту якості (СМЯ), в основі якої лежить цикл «плануй – дій – перевіряй – покращуй», дасть можливість оперативно реагувати на зміни.

Постановка завдання. Метою роботи є огляд основних принципів і складових системи менеджменту якості і виявлення основних напрямів розроблення та впровадження СМЯ на підприємствах топографо-геодезичної сфери.

Виклад основного матеріалу. У ДСТУ ISO 9000:2015 Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів викладено основоположні поняття [6]:

- Якість продукції та послуг – це здатність задовольняти замовників, а також передбачений і непередбачений вплив на відповідні зацікавлені сторони. Якість продукції і послуг охоплює не тільки їхні передбачені функції та характеристики, але й їхні сприймані цінність і користь для замовника.

- Система управління якістю (СУЯ) – це комплекс дій, за допомогою яких організація ідентифікує свої цілі та визначає процеси й ресурси, потрібні для досягнення бажаних результатів. Система керує взаємодійними процесами і ресурсами, потрібними для того, щоби створити цінності та здобути результати для відповідних зацікавлених сторін. Вона дає найвищому керівництву змогу оптимізувати використання ресурсів з огляду на короткострокові і довгострокові наслідки його рішень. Система забезпечує засоби ідентифікування дій щодо передбачених і непередбачених наслідків у постачанні продукції та наданні послуг.

- Середовище організації – це процес, що визначає чинники, які впливають на призначеність, цілі та сталість організації. Він охоплює внутрішні чинники, зокрема цінності, культуру, знання та дієвість організації, а також зовнішні чинники, такі як правове, технологічне, конкурентне, ринкове, культурне, соціальне та економічне середовища.

- Зацікавленою стороною є не лише замовник, а й ті зацікавлені сторони, з якими пов'язаний значний ризик для сталості організації, якщо їхні потреби й очікування будуть знехтувані.

- Обмінювання інформацією – це процес, який зумовлює сплановане та результативне внутрішнє (тобто в усій організації) і зовнішнє (тобто з відповідними зацікавленими сторонами) обмінювання інформацією та сприяє залученню персоналу і підвищеному розумінню:

- середовища організації;
- потреб й очікувань замовників та інших відповідних зацікавлених сторін;
- СУЯ.

- Ключовим моментом у розробленні та впровадженні системи менеджменту якості і, як результат, ефективної роботи організації є також підтримання СУЯ з

боку керівництва. Окрім того, велике значення мають обізнаність і компетентність персоналу, який чітко розуміє і свої обов'язки, і те, які навички, навчання, освіта та досвід потрібні для виконання цих обов'язків, а також усвідомлює необхідність згуртованості у діях.

Стандартом ISO 9000:2015 Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів як основу підвищення показників роботи організації визначено також **сім принципів менеджменту якості** [6]:

- принцип орієнтації на споживача,
- принцип лідерства або ролі керівника,
- принцип залучення персоналу,
- принцип процесного підходу,
- принцип постійного поліпшення,
- принцип прийняття рішень, оснований на фактах,
- принцип керування взаємовідносинами.

Зазначені принципи спрямовані на допомогу організації в досягненні сталого успіху.

Водночас ДСТУ ISO 9001:2015 Системи управління якістю. Вимоги [7] пропонує застосування процесного підходу до розроблення, запровадження та поліпшування результативності системи управління якістю.

Методичне визначення процесів та їхніх кооперацій й управління ними з метою досягнення запланованих результатів є основними принципами процесного підходу, а використання циклу Шухарта–Демінга та зосередженість на ризик-орієнтованому мисленні сприяє керуванню всіма процесами та системою загалом (рис.1).

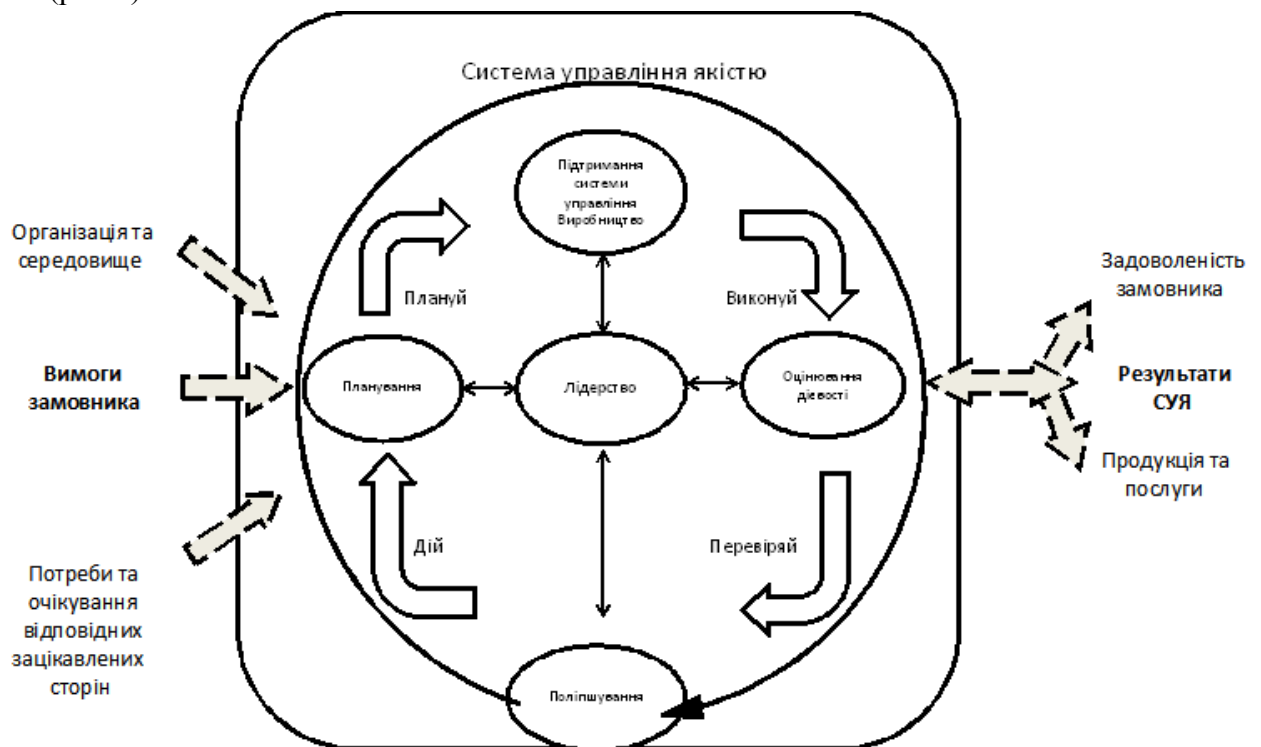


Рис. 1. Структура системи менеджменту якості в циклі Шухарта–Демінга

Процесний підхід до розроблення та впровадження системи менеджменту якістю означає виконання певних етапів, а саме:

1. Визначення потреб й очікувань замовників та інших зацікавлених сторін.
2. Установлення політики та цілей організації у сфері якості.
3. Визначення процесів і відповідальності, необхідних для досягнення цілей у сфері якості.
4. Визначення ресурсів, потрібних для досягнення цілей у сфері якості, та забезпечення ними.
5. Установлення методів, які дають змогу вимірювати результативність й ефективність кожного процесу.
6. Використання цих вимірів для визначення результативності й ефективності кожного процесу.
7. Визначення засобів, які дають змогу запобігати невідповідностям й усувати їхні причини.
8. Запровадження та застосування процесу постійного поліпшування системи управління якістю.

Найбільш відповідальним і трудомістким є визначення основних процесів, ідеться, зокрема, про визначення процесів; послідовність і взаємодію процесів; критерії і методи функціонування процесів; наявність ресурсів та інформації для підтримання процесів та їхнього моніторингу; моніторинг, вимірювання й аналіз процесів; вжиття заходів для досягнення запланованих результатів і постійного поліпшування цих процесів. Чітке визначення процесів, послідовності та їх взаємодії хоча б для одного підприємства геодезичної сфери або сфери земельних відносин буде потужним поштовхом до поліпшення стану системи технічного регулювання в цих сферах.

Аналіз основного документа з якості, який застосовується в топографо-геодезичній сфері, а саме «Інструкції про порядок контролю і приймання топографо-геодезичних та картографічних робіт» (далі «Інструкція»), виявив, що основна увага приділяється контролю. В «Інструкції» чітко визначено види робіт та хто їх перевіряє.

Контроль за польовими роботами здійснюється протягом усього періоду їхнього виконання (польового сезону, року), охоплюючи всі процеси і види робіт.

Контроль за камеральними роботами здійснюється постійно протягом їхнього виконання суб'єктом підприємницької діяльності (керівниками та відповідальними спеціалістами підприємств чи організацій).

Основну і всебічну перевірку якості роботи кожного виконавця здійснює безпосередній керівник робіт камерального виробництва (бригадир, керівник камеральної групи тощо).

Виконані польові роботи пред'являються на приймання безпосередньому керівнику робіт.

Остаточне приймання робіт здійснює спеціаліст з якості за накопичувальною системою.

Виконані камеральні роботи виконавець пред'являє на приймання безпосередньому керівнику робіт після їхньої детальної перевірки та виправлення помилок.

Прийняті безпосереднім керівником матеріали передаються на приймання редактору, керівнику (головному інженеру, головному спеціалісту) підрозділу, який передає їх на приймання начальнику підрозділу (спеціалісту) з якості робіт.

Контроль якості і приймання робіт та проміжної продукції камерального виробництва здійснюється згідно з вимогами технологічних інструкцій на виготовлення такої продукції.

Систематичний контроль польових робіт здійснюється суб'єктами підприємницької діяльності (керівниками та відповідальними спеціалістами підприємств чи організацій),

На підприємстві керівники підприємств шляхом утворення в структурі підприємства технічного відділу (підрозділу з якості) виконують контроль за дотриманням технологічної схеми виготовлення продукції, а також приймання готових і завершених робіт.

Проблематика полягає в тому, що весь процес оцінки відповідності відбувається, по-перше, за внутрішньою нормативною документацією, а по-друге, здійснюється виконавцем робіт.

Окрім того, «Інструкцією» не передбачено оперативного реагування для поліпшення створюваної продукції, швидкого реагування на виявлені недоліки та реагування на зміни ринку геодезичних послуг, приладів і технологій.

У сучасних умовах це знижує можливості застосування топографо-геодезичної, картографічної і геоінформаційної продукції в різноманітних, зокрема в міжнародних, проектах.

Для покращення конкурентоспроможності вітчизняного виробника топографо-геодезичної, картографічної і геоінформаційної продукції, а також для створення національної інфраструктури геопросторових даних в Україні, потрібно на підприємствах топографо-геодезичної сфери впровадити систему управління якістю.

Висновок. Створення та впровадження системи менеджменту якості на підприємствах топографо-геодезичної сфери, сфери земельних відносин дасть можливість підвищити якість створюваної продукції та її конкурентоспроможність, відкриє перспективу реалізації різноманітних міжнародних проектів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Метрологія*, стандартизація, управління якістю і сертифікація: підручник / Р.В. Бичківський, П.Г. Столярчук, П.Р. Гамула. – Львів: Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2002 – 560с.

2. *Сертифікація* в Україні. Нормативні акти та інші документи: в 2-х т. – Київ, 1998 – 368с.

3. *Закон* України «Про стандартизацію».[Електронний ресурс]. – Режим доступу:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1315-18>. – Назва з екрана.

4. *Закон* України «Про підтвердження відповідності» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2406-14>. – Назва з екрана.

5. Закон України «Про акредитацію органів з оцінки відповідності» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2407-14>. – Назва з екрана.

6. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів: ДСТУ ISO 9000:2015. – [Чинний від 2016-07-01]. – Київ. : ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 51 с.

7. Системи управління якістю. Вимоги : ДСТУ ISO 9001-2015. – [Чинний від 2016-07-01]. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 32 с.

8. Інструкція про порядок контролю і приймання топографо-геодезичних та картографічних робіт, затверджена наказом Головного управління геодезії, картографії та кадастру України від 17.02.2000 №19 [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

http://gki.com.ua/ua/normativni_dokumenti_tsentral_nogo_organu_vikonavcho_topografich.

REFERENCES

1. Bychkivskiy R.V., Stoliarchuk P.H. & Hamula P.R. (2002). Metrolohiia, standartyzatsiia, upravlinnia yakistiu i sertyfikatsiia [Metrology, standardization, quality management and certification]. Lviv: Vydavnytstvo Natsionalnoho universytetu „Lvivska politehnika” [in Ukrainian].

2. Sertyfikatsiia v Ukraini. Normatyvni akty ta inshi dokumenty (1998). [Certification in Ukraine. Statutory acts and other documents]. t.1,2. Kyiv [in Ukrainian].

3. Zakon Ukrainy „Pro standartyzatsiiu” [The Law of Ukraine "On Standardization"]. (n.d.).zakon.rada.gov.ua. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1315-18> [in Ukrainian].

4. Zakon Ukrainy „Pro pidtverzhennia vidpovidnosti” [Law of Ukraine "On conformity assessment"]. (n.d.). zakon.rada.gov.ua. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2406-14> [in Ukrainian].

5. Zakon Ukrainy „Pro akredytatsiiu orhaniv z otsinky vidpovidnosti” [Law of Ukraine "On Accreditation of Conformity Assessment Bodies"].(n.d.).zakon.rada.gov.ua. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2407-14> [in Ukrainian].

6. DSTU ISO 9000:2015. Systemy upravlinnia yakistiu. Osnovni polozhennia ta slovnyk terminiv. [Quality Management Systems. Basic Terms and Glossary].(2016). DSTU ISO 9000-2015 from 1th July 2016. Kyiv: DP «UkrNDNTs» [in Ukrainian].

7. Systemy upravlinnia yakistiu. Vymohy. [Quality Management Systems Requirements]. (2016). DSTU ISO 9001-2015 from 1th July 2016. Kyiv: DP «UkrNDNTs»[in Ukrainian].

8. Instruktiiia pro poriadok kontroliu i pryimannia topografo-heodezychnykh ta kartohrafichnykh robit, zatverdzhena nakazom Holovnoho upravlinnia heodezii, kartohrafii ta kadastru Ukrainy vid 17.02.2000 №19 [Instruction of control and acceptance of topographic and geodetic and cartographic works, approved by the order of the Main Department of Geodesy, Cartography and Cadastre of Ukraine dated

February 17, 2000 № 19]. Retrieved from http://gki.com.ua/ua/normativni_dokumenti_tsentral_nogo_organu_vikonavcho_topografich [in Ukrainian].

Е.В. Нестеренко, И.А. Савчук

ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ГЕОДЕЗИИ, КАРТОГРАФИИ, ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА И ГЕОИНФОРМАТИКИ В УКРАИНЕ

Рассмотрены основные понятия, положения и принципы ГОСТ ISO 9001:2015. Системы управления качеством. Проанализирован основной документ по качеству, который применяется в топографо-геодезической отрасли, – „Инструкция о порядке контроля и приемки топографо-геодезических и картографических работ”. Определены основные этапы контроля качества работ в соответствии с инструкцией, установлено наличие всех звеньев цикла Шухарта – Деминга в рамках контроля приемки готовой продукции. Установлена необходимость внедрения системы менеджмента качества на предприятиях геодезической отрасли и сферы земельных отношений.

Ключевые слова: ISO 9001, системы управления качеством, процессный подход, земельные отношения.

O.Nesterenko, I.Savchuk

DEVELOPMENT PERSPECTIVE OF THE TECHNICAL REGULATION SYSTEM IN THE FIELD OF GEODESY, CARTOGRAPHY, LAND MANAGEMENT AND GEOINFORMATICS IN UKRAINE

The article is devoted to the relevance and necessity of applying the principles of a quality management system for geoinformation data in the topographic and geodetic field and land relations. The main concepts, provisions and principles of DSTU ISO 9001:2015 Quality management system has been considered. The basic quality document, which is used in the topographic and geodetic field - "Instruction on the procedure of control and reception of topographic and geodetic and cartographic works" has been analyzed. In accordance with the instruction the basic stages of quality control work has been determined, the presence of all parts of the Shuhart-Deming cycle in the framework of the acceptance control of finished products has been established. Found no measures to improve product quality and rapid response to eliminate and prevent deficiencies. The necessity of implementation of the quality management system at the enterprises of the topographic-geodesic industry and sphere of land relations has been established.

Keywords: ISO 9001, quality management system, process approach, land relations.

Надійшла до редакції

22.02.2019

В.М. Ковтун, асистент кафедри геодезії та землеустрою
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДХИЛЕНЬ ВІД ВЕРТИКАЛЬНОСТІ СТІНОК РЕЗЕРВУАРІВ ВЕРТИКАЛЬНИХ СТАЛЬНИХ

У роботі висвітлено опрацювання геодезичних інструментальних спостережень в складі технічного огляду резервуарів вертикальних сталевих для визначення їх геометричних параметрів. Представлено алгоритм розрахунку центра резервуара вертикального сталевих на підставі даних інструментальних спостережень, виконаних на реальному об'єкті. Розроблений алгоритм дає можливість визначити центр кола, що описує споруду чи об'єкт округлої форми, використовуючи просторові координати цього об'єкта, зокрема, за відсутності даних про весь периметр об'єкта. Розраховано відхилення від вертикальності стінок резервуара вертикального сталевих шляхом визначення радіальних зміщень. Виконано розрахунок крену резервуара шляхом визначення напрямного вектора апроксимуючої прямої, яка описує вісь резервуара, це дало змогу отримати виправлені значення радіальних зміщень. Виконано аналіз точності знаходження цієї апроксимуючої прямої.

Ключові слова: РВС, резервуар вертикальний сталевий, геометричні параметри, технічний огляд, експертне обстеження, центр кола, крен.

Вступ. Проблема надійності і працездатності обладнання і споруд об'єктів магістральних нафтопроводів і нафтопродуктопроводів є дуже важливою в галузі транспортування і зберігання нафти і нафтопродуктів. Що більше надійного обладнання і менше його відмов, то рідше простої у роботі транспорту нафти і нафтопродуктів, аварій з розливом палива та інших шкідливих для підприємства і навколишнього середовища наслідків. Металеві резервуари вертикальні сталеві (РВС) належать до відповідальних зварних конструкцій, що працюють у важких експлуатаційних умовах. Наявність у резервуарах жорстких зварних з'єднань і зниження пластичних властивостей металу за від'ємних температур викликає значні внутрішні напруження і створює умови, що унеможливають їх перерозподіл. Ці та ряд інших причин (нерівномірні опади, корозія) знижують експлуатаційну надійність резервуара, іноді призводять до його руйнування. Періодичне обстеження і комплексна дефектоскопія дають можливість своєчасно виявляти дефекти, які були допущені під час виготовлення, спорудження резервуарів, а також виникли в процесі експлуатації. Для підвищення надійності резервуарів і продовження терміну працездатності зі збереженням рівня наливу нафти потрібно своєчасно відповідно до нормативних документів виконувати технічний огляд (експертне обстеження) технічного стану всіх конструктивних елементів резервуарів й усувати виявлені дефекти.

Аналіз дослідження і публікацій. Велику роль в розвиток методики спостереження за геометричними параметрами резервуарів вертикальних сталевих внесли О.М. Самойленко, Х.В. Паньків, І.П. Бородай, П.І. Баран,

© В.М. Ковтун, 2019

Т. Шевченко, О. Мороз, В. Гарнавський, А.Г. Чибунічев, Е.К. Честкин, А.А. Бешр Ашраф, А.В. Иванов, А.А. Тарасенко, П.В. Чепур, С.В. Чирков та інші.

Сучасні методи вимірювання за допомогою електронних Total Position Station (TPS), лазерного сканування досліджено в роботах професора О.М. Самойленка [9]. Ці методи дають змогу одержати більш об'єктивну і точну інформацію про геометрію споруди.

Використання електронних приладів, таких як електронні тахеометри чи нівеліри, наземні лазерні сканери [10; 11], суттєво зменшують затрати часу та на порядок підвищують точність вимірів.

Одним з найважливіших завдань, яке вирішують під час геодезичного контролю РВС, є визначення відхилень від вертикальності стінок резервуара [1; 3-5]. Основними геодезичними приладами, які можуть використовуватись для розв'язання поставленої проблеми, є електронні тахеометри [12; 13], наземні лазерні сканери та трикоординатні вимірювальні системи, трекери та мультистанції [14]. У деяких випадках можуть бути застосовані теодоліти, наприклад, автоколімаційні (автоколімаційні тахеометри не випускають) [2].

Постановка завдання. Резервуари, що знаходяться в експлуатації, підлягають технічному діагностуванню (експертному обстеженню) як об'єкти підвищеної небезпеки [8]. Згідно з нормативним документом [6] експертне обстеження (технічне діагностування) охоплює, окрім дефектоскопії, також інструментальні геодезичні обміри, такі як нівелювання дна та кришки даху резервуара, визначення відхилення від вертикалі його стінок.

Тому постає питання визначення геометричних параметрів резервуара, а саме відхилення від вертикальності його стінок, на підставі даних, отриманих з інструментальних геодезичних спостережень за допомогою сучасних приладів.

Основна частина. Згідно з нормативними вимогами [6; 8] резервуари повинні проходити повне обстеження не рідше, аніж через 10 років за терміну експлуатації резервуара до 20 років і кожні вісім років під час експлуатації понад 20 років. Тому в грудні 2014 року був виведений з експлуатації наземний вертикальний циліндричний сталевий зварний резервуар номінальною місткістю 75 000 м³ з плаваючим дахом та подвійною стінкою підприємства ЛВДС «Броди» для повного планового обстеження.

Була використана методика визначення відхилень стінок резервуара від вертикалі, основана на координатних вимірах кожного шва. Залежно від ситуації навколо резервуара обирали схему геодезичної мережі у вигляді замкнутого три-, чотири-, шести- або навіть восьмикутника (рис. 1, а). Найкоротша віддаль від точок геодезичної мережі до твірної резервуара була в межах від однієї до чотирьох висот резервуара. Важливо, щоби сторони геодезичної мережі були приблизно однакової довжини, а віддалі від точок геодезичної мережі до стінки резервуара – майже однаковими. Беручи до уваги дослідження фахівців [12] та [13], з однієї станції електронним тахеометром безвідбитковим способом виконано виміри лише чотирьох швів (рис. 1, б) для того, щоби уникнути ймовірного ковзання променя чи втрати точності через його розсіювання. Таким чином були отримані координати стінки резервуара вздовж вертикалі, проведеної з нижньої точки першого пояса [6] на рівні кожного пояса резервуара.

Вимірювання виконано в одній умовній системі координат через брак планових координат реперів поблизу резервуара шляхом прокладання замкнутого тахеометричного ходу. За допомогою визначених координат станцій цього ходу були розраховані його лінійно-кутові значення, що дало нам змогу його урівняти. За результатами зрівнювання прокладений нами хід був вимірний з відносною точністю 1/78288.

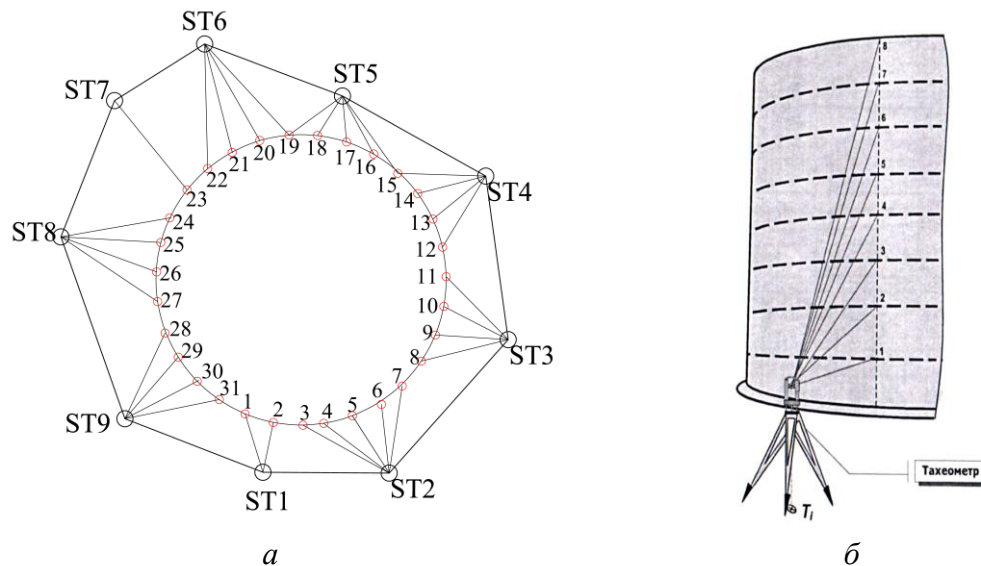


Рис. 1. Визначення відхилень стінок резервуара:
 а – тахеометричний хід, прокладений навколо резервуара;
 б –приклад вимірювання координат кожного шва

Кількість горизонтальних і вертикальних перетинів на циліндричній частині резервуара вибрано відповідно до нормативного документа [2]. За допомогою рулетки на висоті 0,75Н першого пояса були розмічені крейдою вертикальні січення та підписані їх номери. Після інструментальних спостережень отримано координати X, Y, H 278 точок в одній умовній системі координат.

Згідно з нормативними документами [6; 8] одним із завдань геодезичного контролю за геометричними параметрами резервуарів вертикальних сталевих є визначення відхилень від вертикальності стінок резервуара. Самі відхилення являють собою радіальні зміщення точок на кожному поясі резервуара відносно нульового (початкового пояса). Тому постає проблема визначення центра кола, який формує поверхню резервуара, і радіусів кожної точки, для якої й знаходять відхилення.

Пропонується для визначення координат центра кола, що формують точки нульового пояса, застосовувати метод найменших квадратів [7]:

$$[pv^2] = \min. \tag{1}$$

Усі виміри резервуара були прийняті рівноточними, тобто $p=1$:

$$[v^2] = \min. \tag{2}$$

Для розв’язання поставленої задачі використовували параметричний спосіб, оскільки функція кола є відомою (3):

$$R = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2}. \tag{3}$$

Перш за все потрібно розрахувати початкові значення координат центра ($X0^i$, $Y0^i$) та радіуса кола ($R0^i$). Для цього пропонується взяти середньоарифметичне значення, а саме:

$$X0^i = \frac{1}{m} \times \sum_{j=0}^m X_{i,j}; \quad (4)$$

$$Y0^i = \frac{1}{m} \times \sum_{j=0}^m Y_{i,j}; \quad (5)$$

$$R_{i,j} = \sqrt{(X_{i,j} - X0^i)^2 + (Y_{i,j} - Y0^i)^2}; \quad (6)$$

$$R0^i = \frac{\sum_{j=0}^m \sqrt{(X_{\text{Рез}j} - X_0)^2 + (Y_{\text{Рез}j} - Y_0)^2}}{m}, \quad (7)$$

де $X_{i,j}$, $Y_{i,j}$ – значення координат точок на i -му поясі резервуара j -го шва; $R_{i,j}$ – розрахований радіус точки резервуара на i -му поясі j -го шва; $R0^i$ – середній радіус i -го пояса резервуара; n – кількість поясів резервуара; m – кількість точок в одному поясі резервуара.

Наступним кроком є встановлення абсолютного екстремуму функції:

$$\Delta^i = \sum_{j=0}^m (R_{i,j} - R0^i)^2 \rightarrow \min; \quad (8)$$

$$\Delta^i = \sum_{j=0}^m \left[\sqrt{(X_{i,j} - X0^i)^2 + (Y_{i,j} - Y0^i)^2} - R0^i \right]^2 \rightarrow \min, \quad (9)$$

тобто прирівнювання часткових похідних до нуля:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Delta^i}{\partial X0^i} &= 2 \times \sum_{j=0}^m \left[\frac{\left[\sqrt{(X_{i,j} - X0^i)^2 + (Y_{i,j} - Y0^i)^2} - R0^i \right]}{\sqrt{(X_{i,j} - X0^i)^2 + (Y_{i,j} - Y0^i)^2}} \times (X_{i,j} - X0^i) \right] = \\ &= 2 \times \sum_{j=0}^m \left[(X_{i,j} - X0^i) - \frac{R0^i (X_{i,j} - X0^i)}{\sqrt{(X_{i,j} - X0^i)^2 + (Y_{i,j} - Y0^i)^2}} \right] = 0 \end{aligned} \quad (10)$$

$$\frac{\partial \Delta^i}{\partial Y0^i} = 2 \times \sum_{j=0}^m \left[(Y_{i,j} - Y0^i) - \frac{R0^i (Y_{i,j} - Y0^i)}{\sqrt{(X_{i,j} - X0^i)^2 + (Y_{i,j} - Y0^i)^2}} \right] = 0; \quad (11)$$

$$\frac{\partial \Delta^i}{\partial R0^i} = -2 \times \sum_{j=0}^m \left[\sqrt{(X_{i,j} - X0^i)^2 + (Y_{i,j} - Y0^i)^2} - R0^i \right] = 0. \quad (12)$$

На підставі даних, отриманих з інструментальних спостережень, та застосовуючи для розрахунку метод найменших квадратів, були встановлені координати центра кола кожного пояса (табл. 1).

Зрозуміло, що точки, які знімалися на поверхні резервуара, не знаходяться в одному колі, а описують фігуру, що до нього наближається, тому й встановлення центра чи радіуса такої фігури є однозначно неможливим. За допомогою методу найменших квадратів можливо розрахувати такий центр, який буде якомога краще задовольняти умову збереження однакового радіуса для кожної точки.

Як уже згадувалося, одним з важливих завдань, яке вирішується під час геодезичного контролю РВС, є визначення відхилень від вертикальності стінок резервуара [1; 3-5].

Згідно з нормативними документами [8] максимальне відхилення від вертикалі поясів стінки на висоті H становить:

$$\Delta = 0,005\text{мм} \times H_{i,j} + 10\text{мм}. \quad (13)$$

Для визначення відхилення від вертикальності стінок резервуара (рис. 2) використовували радіальні зміщення, тобто різницю радіусів-векторів проєкцій точок в одному вертикальному перерізі на рівні кожного пояса з точками нульового пояса (пояса з найменшою висотою).

Таблиця 1

Розраховані координати центрів кіл кожного пояса

№ пояса	Координати, м		
	X	Y	Z
9	48,2591	109,9815	114,8570
8	48,2634	109,9830	113,7079
7	48,2617	109,9843	112,4503
6	48,2662	109,9802	109,9821
5	48,2662	109,9775	107,4763
4	48,2642	109,9792	105,5074
3	48,2657	109,9828	103,4962
2	48,2686	109,9823	101,5269
1	48,2715	109,9799	99,5919

Аналізуючи отримані дані (табл. 1), можна дійти висновку, що координати центрів кіл кожного пояса, які описують резервуар, відрізняються, це свідчить про наявність крену резервуара.

Для коректного розрахунку відхилення від вертикальності стінки сталюого резервуара від точок на поясі з найнижчою висотою потрібно визначити кут нахилу та ввести поправки у відповідні значення відхилень.

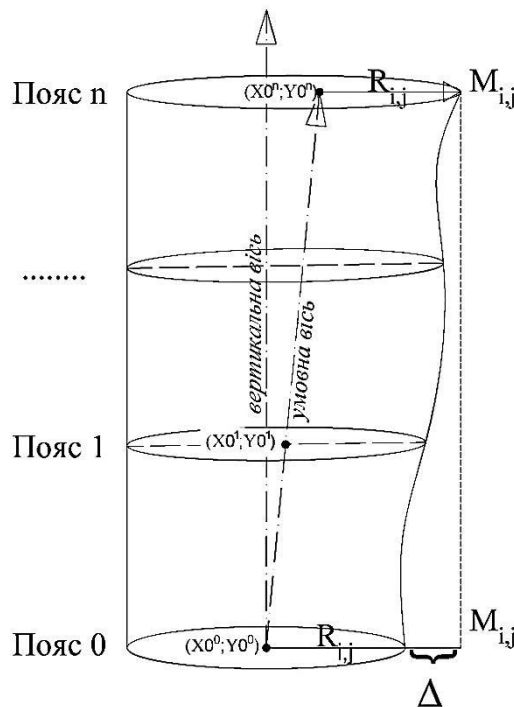


Рис. 2. Визначення радіальних зміщень

Для визначення радіальних зміщень скористаємося такими формулами:

$$\Delta_{i,j} = R_{i,j} - R_{0,j}; \quad (13)$$

$$R_{i,j} = \sqrt{(X_{i,j} - X0^i - H_{i,j} \times tg_x)^2 + (Y_{i,j} - Y0^i - H_{i,j} \times tg_y)^2}; \quad (14)$$

$$R_{0,j} = \sqrt{(X_{0,j} - X0^i - H_{0,j} \times tg_x)^2 + (Y_{0,j} - Y0^i - H_{0,j} \times tg_y)^2}; \quad (15)$$

$$H_{i,j} = Z_{i,j} - Z_{0,j}, \quad (16)$$

де i – номер порядку $i \in [0; n]$, n – кількість поясів; j – номер порядку $j \in [0; m]$, m – кількість точок в одному поясі; tg_x – проекція кута нахилу на площину ХН; tg_y – проекція кута нахилу на площину УН; $H_{i,j}$ – відносна висота точки на поверхні резервуара; $Z_{i,j}$ – координата відповідної точки на поверхні резервуара.

Для розрахунку кута нахилу резервуара, а отже, його проекцій на площини ХН та УН треба знайти рівняння прямої в просторі. Відповідне рівняння прямої повинно проходити через точки, які є центрами кіл кожного пояса.

Відомо, що будь-яка пряма в просторі може бути задана точкою $M_1(x_1, y_1, z_1)$, що належить їй, та напрямним вектором $\bar{s} = (m, n, p)$, колінеарним до цієї прямої. Таке рівняння називається канонічним рівнянням прямої та має вигляд:

$$\frac{x-x_1}{m} = \frac{y-y_1}{n} = \frac{z-z_1}{p}. \quad (17)$$

Рівняння може бути задане також двома точками $M_1(x_1, y_1, z_1)$ та $M_2(x_2, y_2, z_2)$, що належать цій прямій:

$$\frac{x-x_1}{x_2-x_1} = \frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{z-z_1}{z_2-z_1}, \quad (18)$$

тобто

$$\begin{aligned} m &= x_2 - x_1 = \Delta x; \\ n &= y_2 - y_1 = \Delta y; \\ p &= z_2 - z_1 = \Delta z. \end{aligned} \quad (19)$$

На основі наведених формул (17-19) можна знайти рівняння прямих, які проходять через точку центра кола найнижчого пояса з координатами $(X0^0, Y0^0, H_{0,j})$ та центр кола відповідного пояса з координатами $(X0^i, Y0^i, H_{i,j})$:

$$\begin{aligned} m_i &= \Delta x_i = X0^i - X0^0; \\ n_i &= \Delta y_i = Y0^i - Y0^0; \\ p_i &= \Delta z_i = Z0^i - Z0^0; \\ \frac{x-X0^0}{m_i} &= \frac{y-Y0^0}{n_i} = \frac{z-Z0^0}{p_i}. \end{aligned} \quad (20)$$

За умови, що крен резервуара є сталим вздовж всієї його висоти, всі точки центрів кіл кожного пояса мали б бути на одній прямій. З попереднього опрацювання даних спостережень встановлено, що точки центрів кіл кожного пояса відхиляються від прямої. Для розрахунку крену треба скласти рівняння прямої, яка проходить через центр кола найнижчого пояса, таким чином мінімізуючи віддалі до точок центрів кожного пояса за способом найменших квадратів. Для розрахунку віддалі скористаємося алгоритмом.

Якщо задано рівняння прямої (20), то нескладно знайти $\bar{s} = (m, n, p)$ – напрямний вектор прямої і $M_1(x_1, y_1, z_1)$ – координати точки, що належить цій

прямій. Із властивостей векторного добутку відомо, що модуль векторного добутку векторів дорівнює площі паралелограма, побудованого на цих векторах:

$$S = |\overline{M_0M_1} \times \bar{s}|. \quad (21)$$

З другого боку, площа паралелограма дорівнює добутку його сторони на висоту, проведену до цієї сторони:

$$S = |\bar{s}| \times d. \quad (22)$$

У розгляданому випадку висота дорівнюватиме віддалі від точки до площини d , а сторона паралелограма – модулю напрямного вектора \bar{s} .

Прирівнявши вирази (21) та (22), отримуємо формулу віддалі від прямої до точки в просторі:

$$d = \frac{|\overline{M_0M_1} \times \bar{s}|}{|\bar{s}|}. \quad (23)$$

Векторний добуток можна представити у вигляді матриці з відомими $\Delta x, \Delta y, \Delta z$ та шуканими m, n, p :

$$\overline{M_0M_1} \times \bar{s} = \begin{vmatrix} I & J & K \\ \Delta x & \Delta y & \Delta z \\ m & n & p \end{vmatrix}, \quad (24)$$

де

$$\begin{aligned} I &= \Delta y \times p - \Delta z \times n; \\ J &= \Delta x \times p - \Delta z \times m; \\ K &= \Delta x \times n - \Delta y \times m; \\ |\bar{s}| &= \sqrt{m^2 + n^2 + p^2}. \end{aligned} \quad (25)$$

Підставивши вирази (24) та (25) в рівняння (23), отримаємо вираз для розрахунку віддалі від прямої, яка проходить через центр кола найнижчого ярусу резервуара та задана напрямним вектором $\bar{s} = (m, n, p)$, що проходить через вісь резервуара до d_i :

$$d_i = \frac{\sqrt{((Y_0^i - Y_0^0) \times p - (Z_0^i - Z_0^0) \times n)^2 + ((X_0^i - X_0^0) \times p - (Z_0^i - Z_0^0) \times m)^2 + ((X_0^i - X_0^0) \times n - (Y_0^i - Y_0^0) \times m)^2}}{\sqrt{(X_0^i - X_0^0)^2 + (Y_0^i - Y_0^0)^2 + (Z_0^i - Z_0^0)^2}}. \quad (26)$$

Після відповідних перетворень рівняння (26) дає змогу отримати віддалі d . Далі треба задати умову способу найменших квадратів для знаходження напрямного вектора, мінімізуючи віддалі від прямої:

$$[p_i d_i^2] = \min,$$

вважаючи, що величини віддалей є рівноточними, тобто з рівними вагами:

$$[d_i^2] = \min. \quad (27)$$

Аналогічно наведеній схемі розрахуємо абсолютні екстремуми функцій, прирівнюючи їх часткові похідні до нуля:

$$\begin{aligned} \frac{\partial d_i}{\partial m} &= \frac{m \times \Delta y_i^2 - n \times \Delta x_i \times \Delta y_i + m \times \Delta z_i^2 - p \times \Delta x_i \times \Delta z_i}{\sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2 + \Delta z_i^2} \times \sqrt{(m \times \Delta y_i - n \times \Delta x_i)^2 + (m \times \Delta z_i - p \times \Delta x_i)^2 + (n \times \Delta z_i - p \times \Delta y_i)^2}} = 0 \\ \frac{\partial d_i}{\partial n} &= \frac{n \times \Delta x_i^2 - m \times \Delta x_i \times \Delta y_i + m \times \Delta z_i^2 - p \times \Delta y_i \times \Delta z_i}{\sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2 + \Delta z_i^2} \times \sqrt{(m \times \Delta y_i - n \times \Delta x_i)^2 + (m \times \Delta z_i - p \times \Delta x_i)^2 + (n \times \Delta z_i - p \times \Delta y_i)^2}} = 0 \\ \frac{\partial d_i}{\partial p} &= \frac{p \times \Delta x_i^2 - m \times \Delta x_i \times \Delta z_i + p \times \Delta y_i^2 - n \times \Delta y_i \times \Delta z_i}{\sqrt{\Delta x_i^2 + \Delta y_i^2 + \Delta z_i^2} \times \sqrt{(m \times \Delta y_i - n \times \Delta x_i)^2 + (m \times \Delta z_i - p \times \Delta x_i)^2 + (n \times \Delta z_i - p \times \Delta y_i)^2}} = 0 \end{aligned}$$

Використовуючи дані, наведені в табл. 1, та систему рівнянь (28), були розраховані елементи m , n , p напрямного вектора прямої, яка задовільняє умову (27) наземного вертикального циліндричного сталевого зварного резервуара номінальною місткістю $75\ 000\ \text{м}^3$ з плаваючим дахом та подвійною стінкою підприємства ЛВДС «Броди»:

$$\begin{aligned} m &= -0.005844309; \\ n &= 0.00118217; \\ p &= 8.029864232. \end{aligned} \quad (29)$$

Задаючись значеннями m , n , p (29) напрямного вектора \bar{s} , можна розрахувати проекції кута нахилу на площини ХН (tg_x) та УН (tg_y):

$$\begin{aligned} tg_x &= \frac{m}{p} = -0.00073; \\ tg_y &= \frac{n}{p} = 0.000147. \end{aligned} \quad (30)$$

Знаки тангенсів проекцій кута нахилу також вказують на напрямок крену: за додатного значення це північ і схід, за від'ємного – південь і схід для проекцій на площини ХН та УН відповідно.

Для встановлення СКП відтворення осі резервуара апроксимуючою прямою пропонується розрахувати відхилення координат прямої на висоті пояса від координат центра кола того самого пояса за відомою формулою Гаусса (табл. 1):

$$m_{tg} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n [(x_0^0 + H_{i,j} \times tg_x) - x_0^i]^2 + [(y_0^0 + H_{i,j} \times tg_y) - y_0^i]^2}{n}} = 2.7\ \text{мм}. \quad (31)$$

Таким чином, можна стверджувати, що знайдена пряма апроксимує вісь резервуара з високою точністю.

За допомогою формул (13-15) та значень табл. 1 були отримані результати радіальних зміщень, які представлені в табл. 2 та 3.

Таблиця 2

Обчислені результати радіальних зміщень у 5-му шві

№ горизонту	Висота, м	Допустиме відхилення, мм	Радіальні зміщення, мм	Допуск проведеного вимірювання
0	0	0	0	Допуск
1	1,9	20	19	Допуск
2	3,9	30	20	Допуск
3	5,9	40	43	Перевищення допуску
4	7,9	49	36	Допуск
5	10,4	62	31	Допуск
6	12,9	74	8	Допуск
7	14,1	81	-18	Допуск
8	15,3	86	-35	Допуск

Проаналізувавши отримані результати радіальних зміщень шва №5, бачимо, що перевищення регламентованого допуску (12) в 40 мм спостерігається лише на горизонті №3 та становить 43 мм.

Таблиця 3

Обчислені результати радіальних зміщень у 8-му шві

№ горизонту	Висота, м	Допустиме відхилення, мм	Радіальні зміщення, мм	Допуск проведеного вимірювання
0	0	0	0	Допуск
1	2,0	20	-12	Допуск
2	3,9	30	-2	Допуск
3	5,9	40	-2	Допуск
4	7,9	50	-19	Допуск
5	10,4	62	-9	Допуск
6	12,9	74	-6	Допуск
7	14,1	81	2	Допуск
8	15,3	87	-11	Допуск

Для більш наочного, графічного, представлення отриманих результатів побудовані розрізи резервуара по напрямках радіусів швів №5 і №8 (рис. 4).

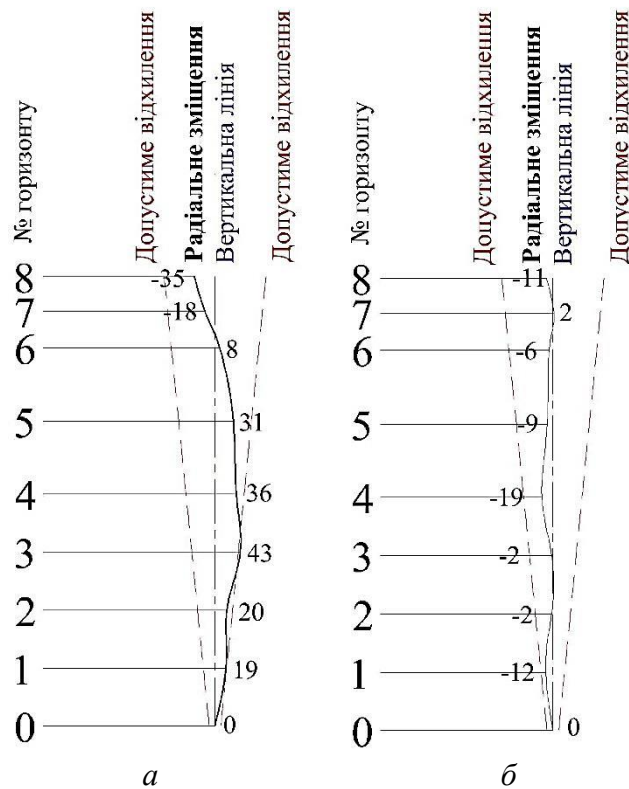


Рис. 4. Розріз резервуара по 5-му (а) і 8-му (б) шву

Наведені таблиці та рисунки дають змогу аналізувати відхилення від вертикальності стінки резервуара лише в місцях безпосереднього вимірювання, тобто в тих місцях, де вони були безпосередньо виміряні геодезичними приладами.

Сучасні методи визначення геометричних параметрів резервуарів, що ґрунтуються на використанні електронних Total Position Station (TPS) і лазерному скануванні, досліджено в роботах професора О. М. Самойленка [9]. З метою максимального використання цієї інформації й автоматизації процесів її опрацювання доцільним є використання БСІ під час створення 3D-поверхні РВС для визначення його геометричних параметрів.

Висновки

1. У роботі представлено алгоритм розрахунку центра резервуара на основі даних інструментальних геодезичних спостережень.
2. Розроблений алгоритм може бути використаний для визначення центра будь-якої споруди округлої форми, просторові координати якої відомі.
3. З досвіду використання розробленого алгоритму на реальних об'єктах відомо, що навіть за відсутності просторових координат деяких точок на поверхні об'єктів можна знайти координати центра.
4. У статті розраховано кут нахилу осі резервуара шляхом визначення напрямного вектора апроксимуючої прямої.
5. Наведено розраховані дані геометричних параметрів, а саме радіальних зміщень зовнішньої стінки наземного вертикального циліндричного сталевого зварного резервуара номінальною місткістю 75 000 м³ з плаваючим дахом та подвійною стінкою підприємства ЛВДС «Броди», отримані на основі реальних інструментальних геодезичних спостережень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Грінченко Є.М.* Визначення терміну безпечної експлуатації стінки вертикального резервуару для збереження нафтопродуктів в експлуатації [Текст] / Грінченко Є.М., Соколов Д.Л., Федоренко Р.М. // Проблеми надзвичайних ситуацій. – 2014. – № 19. – С. 38-48.
2. *Метрологія.* Резервуари стаціонарні вимірювальні вертикальні. Методика повірки (калібрування) геометричним методом із застосуванням геодезичних приладів: ДСТУ 7473:2016 [Текст]. - На заміну ДСТУ 7473:2013. Чинний від 2017-01-01. - Київ : УкрНДНЦ, 2016. – IV. – 74 с.
3. *Заміховський Л. М.* Математичне моделювання напружено-деформованого стану вертикальних сталевих резервуарів [Текст] / Л.М. Заміховський, Х.В. Мартинюк // Наукові вісті Інституту менеджменту і економіки. – 2006. – № 2(10). – С. 96–100.
4. *Заміховський Л. М.* Оцінка напружено-деформованого стану вертикальних сталевих циліндричних резервуарів за переміщеннями точок їх поверхні [Текст] / Л. М. Заміховський, Х. В. Паньків // Вісник КДПУ. – 2007. – Част. 1, Вип. 4. – С. 141–143.

5. *Конструирование и расчёт вертикальных цилиндрических резервуаров низкого давления: учеб. пособие / А. А. Лапшин, А. И. Колесов, М. А. Агеева // Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. – Н. Новгород: ННГАСУ, 2009. – 122 с.*

6. *Магістральні нафтопроводи. Нафтоперекачувальні станції, морські термінали. Технічний огляд, експертне обстеження технологічного обладнання і трубопроводів. Методи і методики: СОУ 60.3-31570412-027:2007. – [Чинний від 2007-09-28]. – К.: ВАТ «Укртранснафта», 2007. – 219 с.*

7. *Метешкін К.О. Математична обробка геодезичних вимірів: навч. посіб. / К.О. Метешкін, Д. В. Шаульський. – Х.: ХНАМГ, 2012. – 176 с.*

8. *Настанова з проведення технічного діагностування вертикальних сталевих резервуарів [Текст]: ДСТУ–Н Б А.3.1–10:2008. – [Чинний від 2009–07–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 63с.*

9. *Самойленко А. Н. Повышение точности определения геометрических параметров и градуировки вертикальных цилиндрических резервуаров при их поверке /А. Н. Самойленко, В. В. Заец // Измерительная техника. – 2007. – № 3. – С. 29-33.*

10. *Середович А. В. Методика определения геометрических характеристик стальных цилиндрических резервуаров с использованием лазерного сканирования/ Д.В. Комиссаров, А.В. Середович, А.В. Иванов // ГЕО-СИБИРЬ-2005: сб. материалов науч. конгр., 25-29 апр. 2005 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2005. – Т. 1: Геодезия, картография, маркшейдерия, ч. 1. – С. 221-225.*

11. *Середович А. В. Разработка методики определения геометрических параметров РВС по данным лазерного сканирования / А.В. Середович, А.В. Иванов // ГЕО-СИБИРЬ-2006: сб. материалов науч. конгр., 24-28 апр. 2006 г., Новосибирск. – Новосибирск: СГГА, 2006. – Т. 1: Геодезия, картография, маркшейдерия, ч. 2. – С. 160-164.*

12. *Тарасенко М.І. Методика визначення технічних параметрів електронних тахеометрів при роботі у безвідбивачевому режимі / М.І. Тарасенко, А.Г. Тіщенко// Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2009. – Вип. 72. – С. 54-61.*

13. *Тревого І. С. Оптимізація використання плівкових відбивачів для спостереження за деформаціями інженерних споруд / І. С. Тревого, Є. Ю. Ільків, Д. В. Кухтар // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2013. – Вип. 78. – С. 146–148.*

14. *Тревого І. Застосування мультистанції Leica MS60 з метою проведення високоточного геопросторового моніторингу / І. Тревого, А. Горб, О. Мелешко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2016. – Вип. 1 (31). – С. 28–32.*

REFERENCES

1. Hrinchenko Ye.M., Sokolov D.L. & Fedorenko R.M. (2014). Vyznachennia terminu bezpechnoi ekspluatatsii stinky vertykalnoho rezervuaru dlia zberezhenia naftoproduktiv v ekspluatatsii [Determination of the term of safe operation of the wall

of the vertical tank for the storage of petroleum products in operation] – *Problemy nadzvychainykh sytuatsii - Problems Emergencies*, 19, 38-48 [in Ukrainian].

2. Metrolohiia. Rezervuary statsionarni vymiriualni vertykalni. Metodyka povirky (kalibruvannia) heometrychnym metodom iz zastosuvanniam heodezychnykh prykladiv [Metrology. Tanks stationary vertical measuring. Method of verification (calibration) geometric method using geodetic instruments]. (2016). *DSTU 7473: 2016* from 2017-01-01. Kyiv: UkrNDNTs [in Ukrainian].

3. Zamikhovskiy L. M. & Martyniuk Kh. V. (2006). Matematychni modeliuvannia napruzheno–deformovanoho stanu vertykalnykh stalnykh rezervuariv [Mathematical modeling of the stress-strain state of vertical steel tanks]. *Naukovi visti Instytutu menedzhmentu i ekonomiky - Scientific reports of the Institute of Management and Economics*, 2 (10), 96–100 [in Ukrainian].

4. Zamikhovskiy L. M. & Pankiv Kh. V. (2007). Otsinka napruzhenodeformovanoho stanu vertykalnykh stalnykh tsylindrychnykh rezervuariv za peremishchenniamy tochok yikh poverkhni [Estimation of the stressed-deformed state of vertical steel cylindrical tanks by moving the points of their surface]. *Visnyk KDPU – Bulletin of the KRSPU*, part 1, issue 4, 141–143 [in Ukrainian].

5. Lapshyn A. A., Kolesov A. Y. & Aheeva M. A. (2009). *Konstruyrovanye y raschet vertykalnykh tsylindrycheskykh rezervuarov nyzkoho davleniya [Design and calculation of vertical cylindrical low pressure tanks]*. N. Novhorod, NNHASU [in Russian].

6. Mahistralni naftoprovody. Naftoperekachuvalni stantsii, morski terminaly. Tekhnichniy ohliad, ekspertne obstezhennia tekhnolohichnoho obladnannia i truboprovodiv. Metody i metodyky [Main oil pipelines. Oil pumping stations, marine terminals. Technical examination, expert examination of technological equipment and pipelines. Methods and Techniques]. (2007). *SOU 60.3-31570412-027:2007* from 2007-09-28. Kyiv: VAT «Ukrtransnafta» [in Ukrainian].

7. Meteshkin K. O. & Shaulskiy D. V. (2012). *Matematychna obrobka heodezychnykh vymiriv [Mathematical processing of geodetic measurements: a tutorial]*. Kharkiv.: KhNAMH [in Ukrainian].

8. Nastanova z provedennia tekhnichnoho diahnostuvannia vertykalnykh stalevykh rezervuariv [Instructions for technical diagnostics vertical steel tanks]. (2009). *DSTU–N B A.3.1–10:2008* from 2009–07–01. Kyiv: Minrehionbud [in Ukrainian].

9. Samoilenko A. N. & Zaets V. V. (2007). Povyshenye tochnosty opredeleniya heometrycheskykh parametrov y hraduyrovky vertykalnykh tsylindrycheskykh rezervuarov pry ykh poverke [Increasing the accuracy of determining the geometric parameters and grading of vertical cylindrical tanks during their verification]. *Yzmyertelnaia tekhnika - Engineering technique*, 3, 29-33 [in Ukrainian].

10. Seredovych A. V. & Yvanov A.V. (2006). Metodyka opredeleniya heometrycheskykh kharakterystyk stalnykh tsylindrycheskykh rezervuarov s yspolzovanyem lazernoho skanyrovannia [Method of determination of geometric characteristics of steel cylindrical tanks using laser scanning]. *HEO-SYBYR-2005: sbornik materyalov nauchnoho konhresa - GEO-SIBERIA-2005: collection of materials of the scientific congress*. (Vol.1), (pp. 221-225). Novosybyrsk: SSUGT [in Russian].

11. Seredovych A. V. & Yvanov A.V. (2006). Razrabotka metodyky opredeleniya heometrycheskykh parametrov RVS po dannym lazernoho skanyrovaniya [Development of the method for determining the geometric parameters of the RVS according to the laser scanning data]. *HEO-SYBYR-2006: sbornyk materyalov nauchnogo konhresa - GEO-SIBERIA-2006: collection of materials of the scientific congress*. (Vol.2), (pp. 160-164). Novosybyrsk: SSUGT [in Russian].

12. Tarasenko M.I. & Tishchenko A.H. (2009). Metodyka vyznachennia tekhnichnykh parametriv elektronnykh takheometriv pry roboti u bezvidbyvachevomu rezhymi [Method of determination of technical parameters of electronic tacheometers during operation in non-reflective mode]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia - Geodesy, Cartography and Aerial Photography*, 72, 54-61 [in Ukrainian].

13. Trevoho I. S., Ilkiv Ye. Yu. & Kukhtar D. V. (2013). Optymizatsiia vykorystannia plivkovykh vidbyvachiv dlia sposterezhennia za deformatsiiamy inzhenernykh sporud [Optimize the use of film reflectors to monitor the deformation of engineering structures]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia - Geodesy, Cartography and Aerial Photography*, 78, 146–148 [in Ukrainian].

14. Trevoho I., Horb A. & Meleshko O. (2016). Zastosuvannia multystantsii Leica MS60 z metoiu provedennia vysokotochnoho heoprosorovoho monitorynhu [Application of multistation Leica MS60 for high-precision geospatial monitoring]. *Suchasni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva - Modern achievements of geodesic science and production*, issue 1 (31), 28–32 [in Ukrainian].

В.М. Ковтун

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ ВЕРТИКАЛЬНОСТИ СТЕНОК РЕЗЕРВУАРОВ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ

Работа посвящена обработке геодезических инструментальных наблюдений в составе технического осмотра резервуаров вертикальных стальных для определения их геометрических параметров. В работе представлен алгоритм расчета центра резервуара вертикального стального на основе данных инструментальных наблюдений, выполненных на реальном объекте. Разработанный алгоритм позволяет определять центр круга, который описывает сооружение или объект округлой формы, используя пространственные координаты этого объекта, в частности, даже при отсутствии данных по всему периметру объекта. Рассчитаны отклонения от вертикальности стенок резервуара вертикального стального путем определения радиальных смещений. В работе выполнен расчет крена резервуара путем определения направляющего вектора аппроксимирующей прямой, описывающей ось резервуара, что позволило получить исправленные значения радиальных смещений. Выполнен анализ точности нахождения этой аппроксимирующей прямой.

Ключевые слова: РВС, резервуар вертикальный стальной, геометрические параметры, технический осмотр, экспертное обследование, центр круга, крен.

CALCULATING THE DEVIATION OF VERTICAL STEEL TANK WALLS FROM VERTICALITY

The work is devoted to the processing of geodetic instrumental observations included in technical inspection of vertical steel tanks aimed to determine their geometric parameters. The research presents the algorithm for calculating the center of the vertical steel tank based on the data collected through instrumental observations performed on a real object. The developed algorithm allows to determine the center of the circle circumscribing a structure or an object of round form using the spatial coordinates of this object, in particular, even in the case of the absence of the data on the whole perimeter of an object. The deviations of the walls of the vertical steel tank from verticality were calculated by detecting radial displacements. In this paper, the calculation of the tank's bank was executed using the determination of the directing vector of the approximating line describing the axis of the tank, which made it possible to obtain the corrected numbers of radial displacements. An analysis of the accuracy of determining this approximating line was carried out.

Keywords: VST, vertical steel tank, geometric parameters, technical inspection, expert examination, center of the circle, bank.

Надійшла до редакції

02.03.2019

УДК 528.48

<https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.66.45-51>

В. С. Староверов, канд. техн. наук, професор,
К. О. Нікітенко, асп. кафедри інженерної геодезії

Київський національний університет будівництва і архітектури

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ АЕРОФОТОЗЙОМКИ ПІД ЧАС ПАСПОРТИЗАЦІЇ МАГІСТРАЛЬНИХ ТРУБОПРОВІДІВ

У статті розглянуто особливості розрахунку параметрів аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів (БПЛА) під час паспортизації магістральних трубопроводів. Викладено спосіб оперативного оцінювання якості аерофотозйомки з безпілотних літальних апаратів.

У роботі проаналізовано переваги аерофотозйомки об'єктів магістральних трубопроводів та представлені параметри літака на маршруті. Крім того, встановлено порядок виконання аерофотознімальних робіт для цілей картографування. Необхідність аерофотознімання пояснюється тим, що за багато років в Україні накопичився величезний масив інформації про діючі магістральні трубопроводи-газопроводи. Однак ці дані частково не впорядковані, а частково втрачені, що не дає можливості оперативно скористатися ними в разі аварійної ситуації або обґрунтовано планувати роботи з реконструкції.

Запропонований розрахунок параметрів аерофотозйомки об'єкта орієнтований на потреби технічного обслуговування і забезпечення цілісності та безпеки трубопровідної системи в процесі її експлуатації.

Ключові слова: аерофотозйомка, безпілотні літальні апарати (БПЛА), паспортизація, продуктивність цифрової камери.

Вступ. Розрахунок параметрів аерофотозйомки - дуже важливий етап підготовчих робіт. Правильно розраховані параметри дають змогу збільшити площу, що покривається за один політ БПЛА, за більш високої якості фотоматеріалів, застосовуваних в картографо-геодезичних, землевпорядних і кадастрових роботах. Аерофотозйомка дає об'єктивні відомості і можливість виявляти об'єкти місцевості, не помітні під час візуального обстеження. Для підтримки паспортизації магістральних трубопроводів на сучасному рівні необхідним є системне оновлення наявних картографічних матеріалів. Під час локального оновлення картографічних матеріалів доцільно використовувати надлегкі БПЛА масою до 5 кг [1]. Такі БПЛА мають високу мобільність і відносно низьку ціну.

Аерофотозйомка об'єктів магістральних трубопроводів має ряд незаперечних «плюсів»:

- здатність охопити всю площу ділянки;
- можливість високої деталізації;
- велике розширення знімків, чіткість і високу якість.

Перевагою зйомки можна вважати й те, що з висоти «пташиного польоту» зображення виявляються набагато змістовнішими, ніж знімки, отримані в результаті застосування традиційного методу, адже в цьому випадку в об'єктив потрапляє не тільки об'єкт, а й територія навколо нього. Розрахунок параметрів аерофотозйомки викладено у відповідних нормативних документах. Аерофотозйомка з малих безпілотних літальних апаратів має ряд особливостей: перевищення допустимих кутів нахилу знімків, недотримання прямолінійності траєкторії польоту для забезпечення необхідного перекриття між знімками, висока частота фотографування і як наслідок надлишок кадрів. Існує методика розрахунку деяких параметрів аерофотозйомки з БПЛА, таких як висота фотографування, відстань між маршрутами і між центрами фотографування на маршруті.

Отже, актуальним завданням є визначення параметрів аерофотозйомки для паспортизації магістральних трубопроводів.

Аналіз досліджень і публікацій. Останніми роками з'явилася велика кількість публікацій про використання безпілотних літальних апаратів для вирішення топографічних завдань, авторами яких є М.Д. Мітін, Д.Б. Нікольський, А.С. Костюк та багато інших провідних українських і російських учених і фахівців приватних організацій.

Результати виконаних експериментальних досліджень і практичних робіт свідчать про те, що аерофотозйомка з БПЛА здатна успішно замінити традиційну аерофотозйомку і наземні методи збору просторових даних з метою створення й оновлення топографічних і кадастрових планів великих масштабів [2]. Отримані в

результаті безпілотної аерофотозйомки цифрові ортофотоплани з наповненням векторними даними і прив'язкою до зовнішніх баз даних використовують як кінцевий продукт в геоінформаційних системах (ГІС), а також як планову основу створення цифрових топографічних планів і карт.

Постановка завдання. Метою роботи є розрахунок параметрів аерофотозйомки для паспортизації магістральних трубопроводів.

Основна частина. Для виконання аерофотозйомки потрібно:

- вибрати аерофотознімальну апаратуру, маса якої не перевищує 1 кг ;
- дібрати камеру для цілей аерофотозйомки;
- обчислити продуктивність кожної камери;
- розрахувати відстань між маршрутами аерофотозйомки;
- встановити параметри втримання літака на маршруті.

Функціональне призначення паспортизації магістральних трубопроводів полягає в оперативній видачі адміністративному і експлуатаційному персоналу набору даних про задані об'єкти системи або системи загалом. Наприклад, за запитом «надати всю інформацію про ділянку трубопроводу на певному пікеті або в певній географічній точці» з паспорта будуть вилучені у формі звіту потрібні дані (наприклад, заводський номер, діаметр, товщина стінки труби, марка стали, тип ізоляції, технічні умови, завод-виробник та ін.; хто, з якою метою і якими методами виконував обстеження; які дефекти і де були виявлені і який ступінь їх небезпеки; які роботи з технічного обслуговування і ремонту були виконані; з яким тиском працювала ділянка трубопроводу тощо) та аерознімок ділянки (рис.1).

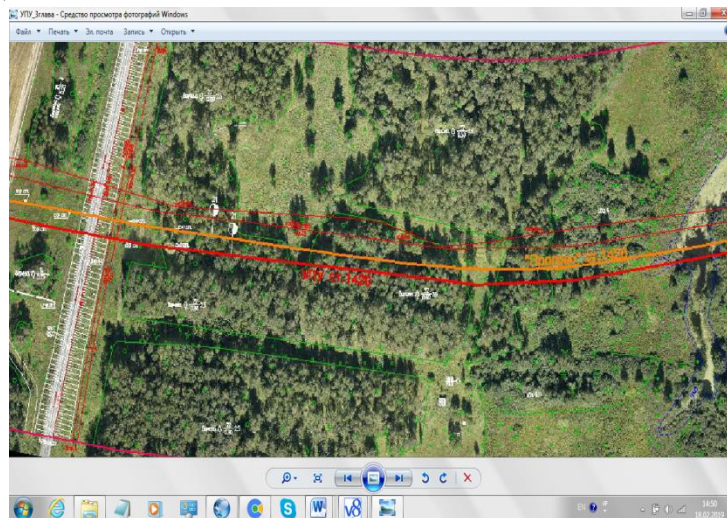


Рис.1 Аерознімок з кадастровою картою ділянки

Таким чином, для будь-якої ділянки може бути отриманий опис «фактичного життєвого циклу».

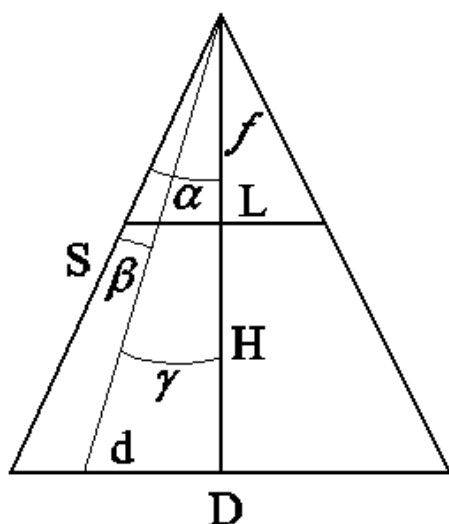
Вибір фотокамер для цілей аерофотозйомки ґрунтується на аналізі таких характеристик: роздільна здатність знімків, фізичний розмір матриці, величина кута захоплення, вага камери і її вартість.

Оскільки в попередніх статтях [3; 4] розглянуто характеристики сучасних цифрових фотокамер, треба лише обчислити продуктивність камери.

Продуктивність цифрової камери для аерофотознімання виражається в потрібній кількості знімків на один квадратний кілометр (км^2) території. Високою буде продуктивність камери з меншою кількістю знімків. Для розрахунку кількості знімків на 1 км^2 треба обчислити оптимальну відстань між маршрутами аерофотозйомки і центрами фотографування на маршруті. Відстань між маршрутами аерофотозйомки і центрами фотографування на маршруті визначають з урахуванням точності ГЛОНАСС / GPS-навігації і особливостей БПЛА [5]. Параметри утримання літака на маршруті такі:

- поперечне зміщення від осі маршруту – $\pm 10 \text{ м}$;
- утримування БПЛА на запроектованій висоті – $\pm 15 \text{ м}$;
- відстань від запроектованого центру фотографування до точки спрацьовування затвора фотоапарата – $\pm 5 \text{ м}$;
- зміна кута нахилу БПЛА на маршруті між двома знімками – 10° ;
- зміна кута тангажу БПЛА на маршруті між двома знімками – 6° .

Висота аерофотозйомки залежить від масштабу створюваного фотоплану. Величина крайнього пікселя знімка на місцевості не повинна перевищувати $0,07 \text{ мм}$ в масштабі створюваного фотоплану. Для розрахунку продуктивності фотокамер слід визначити максимально допустиму висоту фотографування за заданого масштабу створюваного фотоплану.



Схему зв'язку розміру крайнього пікселя знімка з місцевістю наведено на рис. 2, де f – фокусна відстань камери в еквіваленті для 35 мм кадра; L – довжина половини діагоналі матриці, для 35-мм кадра вона становитиме $21,6 \text{ мм}$; H – висота фотографування під час аерофотозйомки; D – довжина половини діагоналі знімка на місцевості.

Розрахунок роздільної здатності знімка слід виконувати для пікселів, найбільш віддалених від центра кадра.

Рис. 2. Зв'язок розміру пікселя знімка з місцевістю

З рис. 2 випливає:

$$S = \frac{d \times \cos(\beta - \alpha)}{\sin \beta}; \quad (1)$$

$$H_{max} = S \times \cos \alpha. \quad (2)$$

Максимально допустиму висоту аерофотозйомки обчислюють за формулою (2), кут α розраховують, залежно від величини фокусної відстані камери і розміру кадра.

Для розрахунку відстані між маршрутами необхідно забезпечити 30% поперечне перекриття, за формулою обчислюють половину поперечного кута захоплення камери, де $L_{\text{попереч}}$ – половина ширини кадра:

$$\gamma = \text{arcctg} \left(\frac{f}{L_{\text{попереч}}} \right). \quad (3)$$

З урахуванням похибки барометричного датчика визначаємо висоту польоту:

$$H_{\text{пол}} = H_{\text{max}} - 20\text{м}. \quad (4)$$

Половину ширини захоплення місцевості камерою обчислюємо за формулою:

$$D = H_{\text{пол}} \times \text{tg} \gamma. \quad (5)$$

Відстань між маршрутами в ідеальних умовах обчислюється за формулою:

$$A_{\text{ум}} = 2 \times P_{\text{ум}} \times D, \quad (6)$$

де $P_{\text{ум}} = 0,7$ за 30% поперечного перекриття знімків.

Оптимізація вибору цифрової фотокамери для цілей аерофотозйомки дає змогу майже в два рази підвищити продуктивність зйомки за один політ, отже, зменшити час на виконання робіт і кількість посадок на непідготовлену площадку, що мінімізує ймовірність поломки безпілотного апарата.

Виконавши розрахунок для Supercam S250, оснащеного двочастотним приймачем, камерою Sony Alpha ILCE-6000 з матрицею 4224x3168 пікселів, отримали: $H_{\text{max}} = 467\text{м}$; $H_{\text{пол}} = 447\text{м}$; $D = 86\text{ м}$.

Правильно розраховані параметри дають можливість збільшити площу, що покривається за один політ. Нині розрахунок параметрів виконується автоматично за допомогою спеціальних програм, таких як Digital, Mapinfo, Bentley Map тощо. Застосування програм сприяє швидкому плануванню маршрутів польоту, для складання проекту досить задати параметри зйомки, виділити робочу ділянку і вказати напрямки маршрутів. Всі параметри побудови проекту відображаються і зберігаються в таблицях, завдяки цьому можна редагувати маршрути безпосередньо на об'єкті робіт і завантажувати їх в навігаційну програму.

Висновки. Комплексне вирішення проблем, пов'язаних з вибором фотокамер, розрахунком параметрів й оперативною оцінкою якості аерофотозйомки дає можливість виконати паспортизацію магістральних трубопроводів за допомогою БПЛА дуже якісно та швидко. Розрахунок параметрів проектування аерофотозйомки з БПЛА істотно скорочує час виконання аерофотознімальних робіт і підвищити якість матеріалів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Скубиев С.И. Инновационная деятельность Государственного университета по землеустройству / С. И. Скубиев // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2009. – Вип. № 9. – С. 50.
2. Митин М.Д. Современные тенденции развития отрасли беспилотных летательных аппаратов / М.Д. Митин, Д.Б. Никольский // Геоматика.– 2013. – №4. – С. 27–31.
3. Староверов В.С. Оцінка точності дистанційної діагностики трубопроводу з застосуванням БПЛА серії supercam / В.С. Староверов, К.О. Нікітенко // Інженерна геодезія – 2018. – Вип. 65. – С. 25-32.
4. Чибіряков В.К. Застосування методів дистанційного контролю для моніторингу магістральних нафтопроводів і газопроводів / В.К. Чибіряков,

В.С. Староверов, К.О. Нікітенко // Містобудування та територіальне планування.– 2017. – Вип. 63. – С. 475-478.

5. *Использование БПЛА в целях картографического мониторинга* / Информационно-аналитический журнал о землеустройстве, геодезии, картографии и навигации. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.myshared.ru/slide/430644>.– Назва з екрана. – Дата звернення 27.12.2017.

6. *Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов.* – М.: Федеральная служба геодезии и картографии России, 2002. – 100 с.

REFERENCES

1. Skybiev S.I. (2009). Inovacionnaya deyatel'nost Gosudarstvennogo Universiteta po zemleustroystvu [Innovative activities of the State University for Land Management]. *Land management, cadastre and land monitoring*, N9,50 [in Russian].

2. Mitin M.D., Nikolskij D.B. (2013). Sovremennue tendecii razvitiya otrasli bespilotnuh letatelnuh apparatov [Current trends in the development of the industry of unmanned aerial vehicles]. *Geomatics* N4-27-31 [in Russian].

3. Staroverov V.S., Nikitenko K.A. (2018). Ocinka tochnosti dustancijnoi diagnostiku truboprovodu z zastosyvannyam bpl serii supercam [Estimation of the accuracy of the remote diagnostics of the pipeline with the use of a series of supercam]. *Inzhenerna heodeziia - Engineering geodesy*, 65, 25-32 [in Ukrainian].

4. Chibiryakov V.K., Staroverov V.S., Nikitenko K.A. (2017). Zastosuvannya metodiv dystancijnogo kontrolyu dlia monitoryngu magistralnyh naftoprovodiv i gazoprovodiv [Application of remote control methods for monitoring of main oil pipelines and gas pipelines]. *Inzhenerna heodeziia - Engineering geodesy*, 63, 475-479 [in Ukrainian].

5. Information and analytical magazine on land management, geodesy, cartography and navigation [Unmanned Systems]. (n.d.) unmanned.ru. Retrieved from <http://www.myshared.ru/slide/430644>. [in Russian].

6. Instruksiya po fotogrammetricheskim rabotam pri sozdanií cifrovuh topograficheskikh kart i planov (2002). [Instructions for photogrammetric work when creating digital topographic maps and plans]. Moscow: Federal Service of Geodesy and Cartography of Russia. [in Russian].

В.С. Староверов, К.А. Нікітенко

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ АЭРОФОТОСЪЕМКИ ПРИ ПАСПОРТИЗАЦИИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

В статье рассмотрены особенности расчета параметров аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) при паспортизации магистральных трубопроводов. Изложены способы оперативной оценки качества аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов.

В работе проанализированы преимущества аэрофотосъемки объектов магистральных трубопроводов и представлены параметры самолета на маршруте. Кроме того, установлен порядок проведения аэрофотосъемочных

работ для целей картографирования. Необходимость проведения аэрофотосъемки заключается в том, что за многие годы в Украине накопился огромный массив информации о действующих магистральных трубопроводах-газопроводах. Однако эти данные частью неупорядочены, а частью потеряны, что не дает возможности оперативно воспользоваться ими в случае аварийной ситуации или обоснованно планировать работы по реконструкции.

Предложенный расчет параметров аэрофотосъемки объекта ориентирован на нужды технического обслуживания и обеспечения целостности и безопасности трубопроводной системы в процессе ее эксплуатации.

Ключевые слова: аэрофотосъемка, беспилотные летательные аппараты (БПЛА), паспортизация, производительность цифровой камеры.

V. Starovierov, K. Nikitenko

CALCULATION OF PARAMETERS OF THE AEROPHOTOSYOMMIC IN PASSPOSITION OF MAGISTRAL PIPELINE

The article deals with the features of calculating the parameters of aerial photography from unmanned aerial vehicles (UAVs) with the certification of main pipelines. The method of operative estimation of the quality of aerial photography from the UAV is described. The paper analyzes the advantages of aerial photography for the objects of main pipelines and presents the parameters of the aircraft on the route. In addition, the procedure for conducting aerial photography works for mapping purposes has been established. The need for aerial photography is that for many years in Ukraine a huge amount of information has been accumulated over the existing trunk pipelines-gas pipelines. However, these data are disordered and partly lost, which does not allow them to be used promptly in the event of an emergency, or it is justified to plan reconstruction work. The proposed calculation of the parameters of aerial photography of the object is oriented on the needs of maintenance and ensuring the integrity and safety of the pipeline system during its operation.

Keywords: aerial photography, unmanned aerial vehicles (UAVs), certification, digital camera performance.

Надійшла до редакції

11.03.2019

В.М. Гладілін, канд. техн. наук, проф. кафедри аерокосмічної геодезії,
А.О. Дубкова, студентка кафедри аерокосмічної геодезії
Національний авіаційний університет
П.О. Чуланов, ст. викл. кафедри інженерної геодезії,
Н.С. Шудра, ст. викл. кафедри інженерної геодезії
Київський національний університет будівництва і архітектури

ДЕФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ ЯК ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ

Зважаючи на особливості деформаційних процесів виконано порівняння різних деформаційних моделей: статичних, динамічних, кінематичних для вибору найбільш достовірної моделі деформації промислового обладнання. З'ясовано, що серед деформаційних моделей найбільш доцільною виявилась динамічна модель, яка дає змогу за вимірними деформаціями розраховувати сили, які викликають зміни форми та розмірів об'єктів, а також впливають на їх цілісність.

Ключові слова: статична, кінематична і динамічна моделі деформації промислового обладнання.

Вступ. Розроблено багато функцій для одержання значень деформацій, які виникають переважно внаслідок вертикальних зміщень (осідань споруд) і горизонтальних зміщень споруд і промислового обладнання. Деякі автори вказують на математичні функції, які апроксимують деформації, як на загальні методи визначення деформацій. У статті розглянуті моделі деформацій як фізичні процеси. Порівнюючи статичну, кінематичну та динамічну моделі, встановлено, що динамічна модель найбільш достовірно і повно описує деформації промислового обладнання.

Аналіз досліджень і публікацій. У динамічних моделях встановлюються зв'язки між рухами і причинами, які їх зумовлюють і дають можливість задавати однозначні математичні відношення між геометричними змінами точок об'єкта, що визначаються геодезичними вимірюваннями та зовнішніми силами. Такі окремі моделі описано в роботах [1-8].

Постановка задачі. У статичній моделі [9] визначення деформацій – це обчислення за геодезичними вимірюваннями визначених точок на об'єкті дослідження на конгруентність. У таких моделях не відображено деформацій, які спричинені зовнішніми чинниками, і встановлено рівновагу об'єкта спостереження під дією прикладених до нього сил.

У кінематичних моделях деформації описують загальними формулами рівномірного руху точок об'єкта без урахування сил, що діють на нього, параметри яких на початку є невідомими.

Потрібно визначити, яку деформаційну модель доцільно використовувати.

Основна частина. Якщо $S(X_a)$ – деформації, які залежать від будь-яких параметрів X_a , то в статичних моделях вони дорівнюють нулю. У кінематичних моделях деформації визначають форму тільки відносно відомих параметрів. У

динамічних моделях деформації визначаються відповідно до форми, й до параметрів об'єкта.

Деформації $S(X_a)$ – це неперервні, розподілені на об'єкті геометричні зміни у часі, які є функцією дії параметрів X_a на об'єкт.

Якщо дискретизувати об'єкт, що розглядається, на окремі точки, одержимо його фізичні (проектні) координати $X_{x,p,t}$ на момент t , які визначають за формулою:

$$X_{x,p,t} = X_{x,t} + S(X_a), \quad (1)$$

при цьому вектор $X_{x,t}$ може відповідати будь-якій вихідній ситуації на час t .

Незалежно від цього сукупність координат точок (1) можна визначати за будь-яким геодезичним методом після вирівнювання спеціальної геодезичної мережі $X_{g,t}$. За допомогою приблизних (вимірних) координат точок $X_{\xi,t}$ потрібно перейти до відповідних геодезичних (вирівняних) координат $X_{x,g,t}$:

$$X_{x,g,t} = X_{\xi,t} + A_{\zeta,t} X_{\zeta,t}, \quad (2)$$

де $A_{\zeta,t}$ – оператор перетворення вимірних значень координат $X_{\zeta,t}$ на час t .

Рух точок об'єкта характеризується траєкторією, довжиною шляху, швидкістю, прискоренням і зміщенням [9]. Рух точки може бути рівномірним і нерівномірним.

Траєкторія – просторова лінія, яка описується точкою під час її руху. Траєкторія руху в просторі є прямолінійною або криволінійною.

Довжина шляху (скаляр) – довжина відрізка траєкторії, який пройшла точка за визначений проміжок часу t .

Швидкість та прискорення деформації (руху точки об'єкта) у різні моменти можуть бути різними – як додатними, так і від'ємними.

Зміщення – вектор, який з'єднує початкове положення рухомої точки і її положення за розглянутий проміжок часу з напрямком до її кінцевого положення, визначається як різниця початкових (проектних) і вимірних за час t координат ідентичних точок.

В ідеалі визначені за геодезичними методами координати n точок об'єкта повинні дорівнювати проектним координатам, тому можна записати тотожність:

$$X_{x,p,t} \equiv X_{x,g,t}, \quad \cap = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

на підставі якої одержимо нелінійну функціональну модель, вважаючи, що рівняння (1) і (2) є тотожними:

$$\Psi(L, X) = X_{x,t} + S(X_a)_t - X_{\xi,t} - A_{\zeta,t} X_{\zeta,t} = 0, \quad t = 1, \dots, n, \quad (4)$$

у матричному вигляді:

$$\Psi(L, X) = \begin{vmatrix} X_{x,1} \\ X_{x,i} \\ X_{x,n} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} S(X_a)_1 \\ S(X_a)_i \\ S(X_a)_n \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} X_{\zeta,1} \\ X_{\zeta,i} \\ X_{\zeta,n} \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} A_{\zeta,1} X_{\zeta,1} \\ A_{\zeta,i} X_{\zeta,i} \\ A_{\zeta,n} X_{\zeta,n} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{vmatrix}. \quad (5)$$

Ця система рівнянь відповідає моделі Гаусса – Гельмерта або системі рівнянь, сформульованих на підставі відповідних результатів оцінювання, котрі є умовними рівняннями з невідомими координатами x точок об'єкта:

$$Bv + Ax + w = 0, \quad \Sigma_l^2 = \sigma_0^2 Q_l, \quad l = 1, 2, \dots, n, \quad (6)$$

де v – вектор опору матеріалу об'єкту, w – вектор вільних членів, Σ_l^2 – загальна дисперсія, Q_l – діагональна коваріаційна матриця.

При цьому вектор вимірювань або відповідний йому вектор невідомих будують таким чином:

$$\begin{aligned} L^T &= |X_\xi^T X_a^T| = |X_{\xi,1}^T, \dots, X_{\xi,n}^T X_a^T|, \\ X^T &= |X_x^T X_\zeta^T| = |X_{x,1}^T, \dots, X_{x,n}^T X_{\zeta,1}^T, \dots, X_{\zeta,n}^T|. \end{aligned} \quad (7)$$

Коефіцієнти рівняння (6) у матричному представленні мають вигляд:

$$B = |-IB_a| = \begin{vmatrix} -I & \dots & B_{a,1} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & -IB_{a,n} \end{vmatrix}, \quad A = |-IA_\zeta| = \begin{vmatrix} -I & \dots & A_{\zeta,1} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & -IA_{\zeta,n} \end{vmatrix}, \quad (8)$$

вектор опору описують рівнянням:

$$v = \Psi(L^0, X^0) + Bv = X_x^0 + S(X_a^0) - X_\xi^0 - A_\zeta X_\zeta^0 - (X_\xi - X_\xi^0) + (X_a - X_a^0). \quad (9)$$

Одержана для рівняння (6) стохастична модель є дійсною з урахуванням системи рівнянь (7), загальну дисперсію знайдемо за формулою:

$$\Sigma_l^2 = \sigma_0^2 \begin{vmatrix} Q_{x,\xi} & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & Q_{x,a} \end{vmatrix}. \quad (10)$$

Підставимо вирази (8) і (9) у рівняння (6), одержимо:

$$v_\xi = B_a v_a + x_x - A_\zeta x_\zeta + w, \quad \Sigma_l^2 = \sigma_0^2 Q_l, \quad l = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

Незалежно від цього для розуміння, які параметри діють на об'єкт, можна виходити з такої основної залежності:

$$X_a = X_a + v_a = X_a^0 + x_a. \quad (12)$$

З рівностей (11) і (12) одержимо:

$$v_{y,\zeta} = A_{y,\zeta} x_{y,\zeta} - w_{y,\zeta}, \quad (13)$$

у матричному вигляді:

$$\begin{vmatrix} v_\xi \\ v_\zeta \\ v_a \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} I - A_\zeta B_a \\ \dots \\ 0 \dots 0 \dots I \end{vmatrix} \begin{vmatrix} x_x \\ x_\zeta \\ x_a \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} -[w - B_a (X_a - X_a^0)] \\ \dots \\ \dots (X_a - X_a^0) \end{vmatrix}. \quad (14)$$

Для того щоби модель була достовірною з урахуванням рівності (9), потрібно, щоби загальна дисперсія була такою:

$$\Sigma_{l,y,\zeta}^2 = \sigma_0^2 Q_{l,y,\zeta} = \sigma_0^2 Q_l, \quad l = 1, 2, \dots, n. \quad (15)$$

Таким чином, система рівнянь (13) буде задаватись іншими параметрами, тобто невідомі параметри даних входять один раз безпосередньо і один раз

опосередковано через x_ζ у вектор рішень $x_{y,\zeta}$. Між знайденим спеціальним рішенням x_x і деяким рішенням $x_{x,a}$ є така залежність:

$$x_x - x_{x,a} = A_\zeta (x_\zeta - x_{\zeta,a}). \quad (16)$$

Застосувавши до вектора рішень мінімальну евклідову норму

$$x_x^T x_x \rightarrow \min, \quad (17)$$

одержимо такі умовні рівняння:

$$A_\zeta x_x = 0. \quad (18)$$

З другого боку, з системи рівнянь (13) з невідомими параметрами даних з урахуванням рівняння (18) одержимо:

$$x_\zeta = -\left(A_\zeta^T A_\zeta\right)^{-1} A_\zeta^T \left\{ v_\zeta - B_a x_a - \left[w - B_a (X_a - X_a^0) \right] \right\}, \quad (19)$$

Підставивши вираз (19) у вихідне рівняння (13), одержимо:

$$F = I - A_\zeta^T \left(A_\zeta^T A_\zeta \right)^{-1} A_\zeta, \quad (20)$$

де F – симетрична ідемпотентна матриця.

З урахуванням рівнянь (20) і (18) вираз (13) набуде вигляду:

$$v_\zeta = x_x + F B_a x_a - \left\{ -F \left[w - B_a (X_a - X_a^0) \right] \right\}. \quad (21)$$

За допомогою виразу (13) для підвектора v_y отримаємо таку скорочену модель:

$$v_y = A_y x_y - w_y, \quad (22)$$

у матричному вигляді:

$$\begin{pmatrix} v_\zeta \\ \dots \\ v_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I & \dots & F B_a \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & I \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_x \\ \dots \\ x_a \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -F \left[w - B_a (X_a - X_a^0) \right] \\ \dots \\ \dots (X_a - X_a^0) \end{pmatrix}. \quad (23)$$

Дисперсія для відповідної стохастичної моделі з урахуванням виразів (10) і (15) набуде вигляду:

$$\Sigma_{l,y}^2 = \sigma_0^2 \begin{pmatrix} F Q_{x,\zeta} F^T & \dots & 0 \\ 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & Q_{x,a} \end{pmatrix}. \quad (24)$$

Матрицю з коефіцієнтами рівнянь геодезичної мережі можна представити у спектральному вигляді:

$$Q_{x,\zeta} = H G^{-1} H^T. \quad (25)$$

При цьому у матриці H містяться власні вектори постійних власних значень, матриця G^{-1} містить власні вектори, які належать до вільних параметрів даних, тоді матрицю F , задану рівнянням (20), можна описати так:

$$F = I - G G^T. \quad (26)$$

З рівнянь (25) і (26) одержимо:

$$F Q_{x,\zeta} = Q_{x,\zeta}. \quad (27)$$

і остаточно з виразу (24) одержимо загальну дисперсію:

$$\Sigma_{l,y}^2 = \sigma_0^2 Q_{l,y} = \sigma_0^2 Q_l, \quad l = 1, 2, \dots, n. \quad (28)$$

Вважаючи, що $L^0 \equiv L$, отримаємо стохастичну модель:

$$v_y = A_y x_y - w_y; \quad \Sigma_{l,y}^2 = \sigma_0^2 Q_{l,y}; \quad l = 1, 2, \dots, n, \quad (29)$$

у матричному вигляді:

$$\begin{pmatrix} v_{\xi} \\ \dots \\ v_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I & \dots & FB_a \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & I \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_x \\ \dots \\ x_a \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} Fw \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}; \quad \sigma_0^2 = \begin{pmatrix} Q_{x,\xi} & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & Q_{x,a} \end{pmatrix}. \quad (30)$$

Відповідно до розміру матриці коефіцієнтів A_y встановимо, що система рівнянь (30) не розходиться без введення остаточного вектора v_y , звідки можна дійти висновку про те, що зникає відповідна сума квадратів $\Sigma_{l,y}^2$ та надлишковість r :

$$\Omega = v_y^T Q_{l,y} v_y = 0, \quad r_y = r(Q_{l,y}) - r(Q_{x,y}) = 0. \quad (31)$$

Таким чином, вираз (30) можна розглянути як вільну від гіпотези H модель рівнянь, яка являє собою розв'язок задачі, описаної виразами (1), (2), (3).

У цій моделі, спираючись на те, що для кожного виразу вводиться особливий вектор вирівняних координат $X_{x,e}$ для опису прийнятої вихідної ситуації $X_{x,t}$, проте, якщо функція деформації $S(X_a)$ вказує на відсутність деформації, ці вектори $X_{x,e}$ та $X_{x,t}$ повинні збігатися для всіх періодів, таким чином, не можна відкидати гіпотезу, що:

$$H : X_{x,e} - X_{x,t} = 0, \quad e = 1, \dots, n, \quad (32)$$

Відповідно модель рівняння (29) з огляду на те, що $L^0 \equiv L$, буде такою:

$$v_{y,0} = A_{y,0} x_{y,0} - w_y; \quad \Sigma_{l,y} = \sigma_0^2 Q_{l,y}, \quad l = 1, 2, \dots, n,$$

у матричному вигляді:

$$\begin{pmatrix} v_{\xi,1,0} \\ \dots \\ v_{\xi,n,0} \\ v_{a,0} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I_1 & F_1 & B_{a,1} \\ \dots & \dots & \dots \\ I_n & F_n & B_{a,n} \\ 0 & \dots & I \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{x,0} \\ \dots \\ x_{a,0} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} -F_1 w_1 \\ \dots \\ -F_n w_n \\ 0 \end{pmatrix}; \quad \sigma_0^2 = \begin{pmatrix} Q_{x,\xi,1,0} & \dots & \dots & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & Q_{x,\xi,1,n} & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & \dots & Q_{x,a} \end{pmatrix}. \quad (33)$$

Вважаючи, що міжперіодична кореляція дорівнює нулю, можна записати:

$$Q_{x,\xi,i,j} = 0, \quad \xi = 1, \dots, n, \quad i \neq j. \quad (34)$$

Отримаємо відповідну систему нормальних рівнянь, яка з огляду на рівняння (27) матиме вигляд:

$$\begin{pmatrix} \Sigma_{l,y} Q_{x,\xi,1,1} \dots \Sigma_{l,y} Q_{x,\xi,1,n} B_{a,1} \\ \dots \\ \Sigma_{l,y} B_{a,1} Q_{x,\xi,1,n} \Sigma_{l,y} B_{a,1} Q_{x,\xi,1,n} B_{a,1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_{x,0} \\ \dots \\ x_{a,0} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} -\Sigma_{l,y} Q_{x,\xi,1,1} w \\ \dots \\ -\Sigma_{l,y} B_{a,1} Q_{x,\xi,1,n} w \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ \dots \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (35)$$

Введемо у функціональну модель вектори рішень з системи рівнянь (33), одержимо

$$x_{y,0} = N_{y,0} n_{y,0} \quad (36)$$

і визначимо остаточний вектор $v_{y,0}$, (N – коефіцієнти нормальних рівнянь, n – перетворені вільні члени нормальних рівнянь).

Результуючи й оптимізуючи $\Sigma_{l,y}^2$ сумму квадратів відхилень і надлишковість r_y рівнянь системи (33), отримуємо з рівностей (31):

$$\Omega = v_{y,0}^T Q_{l,y} v_{y,0} = 0, \quad r_{y,0} = r(Q_{l,y}) - r(Q_{x,y,0}) = 0. \quad (37)$$

Для перевірки гіпотези (32) пропонується тестова величина F -розподілу:

$$F_{r_{y,0}, r_{\xi,a}} = \frac{R}{b s_0^2} \approx F(r_{y,0}, r_{\xi,a}, \lambda_F). \quad (38)$$

Якщо йдеться про H_0 , то зникає параметр нецентрованості λ_F (систематичне зміщення) і є справедливим імовірнісне відношення:

$$P\{F_{r_{y,0}, r_{\xi,a}} \geq F_{r_{y,0}, r_{\xi,a}, (1-\alpha)} | H_0\} = \alpha, \quad (39)$$

де α – довірча ймовірність.

Якщо тестова величина $F_{r_{y,0}, r_{\xi,a}}$ є більшою від відповідного квантиля F – розподілу $F_{r_{y,0}, r_{\xi,a}, 1-\alpha}$, то H_0 слід коригувати відповідно до виразів (32). Обумовлене гіпотезою зменшення суми квадратів відхилень, а також надлишковості вимірювань виявляється з урахуванням виразів (31), (37) у рівності:

$$R = \Omega_{y,00} - \Omega_y; \quad b = r_{y,0} - r_{y,\cdot}. \quad (40)$$

Введено у вираз (38) варіацію s_0^2 та надлишковість $r_{\xi,a}$, які треба вилучити з попередніх рівнянь. Якщо потрібно змінювати H_0 , то треба дослідити два варіанти зміни і виконати аналіз ідентичності деформації.

Проаналізувавши ідентичність рівняння (35), локалізуємо власні зміщення точок, які не повинні бути вилучені, при цьому зміщення можуть відбуватися незалежно від деформацій об'єкта.

Статична модель деформації. Статична модель [9] – модель рівноваги тіл. Такою моделлю описуємо об'єкти, які не змінюють геометричної форми за розглянутий період. В цьому відношенні краще звернутися до цих утворень, ніж до тотожності (3) і відповідно до моделі співвідношення, якщо застосовувати ці процеси тільки для аналізу тотожності. Слід дати відповідь на запитання, чи мають обрані точки обладнання власні рухи (зміщення), тобто якою мірою збігаються однойменні точки. Статична модель передбачає неприпустимість жодних деформацій $S(X_a)$, разом з тим виключаємо коефіцієнти матриці B і коефіцієнти матриці відповідних параметрів впливу Q_x , тобто

$$B_{a,e} = 0; \quad Q_{x,a} = 0; \quad \forall e = 1, \dots, n. \quad (41)$$

У подальшому слід мати на увазі те, що псевдообернена симетрична матриця, ідентична сама собі, є:

$$Q_{x,a}^+ = Q_{x,a}, \quad \forall Q_{x,a} = Q_{x,a}^T = Q_{x,a}^2. \quad (42)$$

Разом з тим параметри із системи рівнянь (35), які належать системі нормальних рівнянь

$$N_{y,0}^s x_{y,0}^s - n_{y,0}^s = 0,$$

у матричному вигляді:

$$\begin{vmatrix} \Sigma^n Q_{x,\xi,ee} & 0 \\ \dots & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_{x,0}^s \\ x_{a,0}^s \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} -\Sigma_{x,\xi,ee}^+ w_e \\ \dots & 0 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix}. \quad (43)$$

Звичайна статична модель деформації є такою з огляду на описані особливі випадки, тобто вилучені коефіцієнти із загального рішення (41). Перевага цього процесу полягає у відносно простій структурі, отже, можуть бути використані спеціальні геодезичні вимірювання (мережі), однак природний недолік фактично обґрунтовує те, що жодних деформацій не беруть до уваги. Під час геодезичного визначення багатьох точок на об'єкті цей процес є оптимальним.

Кінематична модель деформації. Кінематика [9] є теорією руху тіл незалежно від сили, яка впливає на рух тіл.

Такою моделлю описуємо об'єкти, про які знаємо, що вони деформуються. Відомо, що деформації є визначеними функціями місця (об'єкта), сил, часу та інших специфічних параметрів, які впливають на деформаційні процеси. Зважаючи на це, деформація не буде визначена для об'єкта тільки однією неперервною функцією. Відомо, що зв'язок між причиною і дією деформації є неоднозначним.

Останніми роками розроблено багато подібних зв'язків (функцій), чимало ідей у виборі найрізноманітніших математичних функцій доволі нескінченних, автори яких часто вказують на розширені функції як на загальні методи визначення деформацій, хоча вони являють собою лише поодинокі випадки моделювання деформаційних процесів [5-8]. Всі кінематичні моделі мають недолік, який полягає в тому, що вони представляють однозначний математичний зв'язок між фізичною причиною деформації і геометричною дією на об'єкт.

Визначення кінематичних моделей, таким чином, відбувається внаслідок того, що функція деформації $S(X_a)$ представлена в загальній формі. Означені параметри впливу цих зв'язків залишаються знову ж таки невідомими. Коефіцієнти матриці B можна визначити, а коефіцієнти матриці відповідних параметрів впливу Q_x так само, як у статичних моделях, вилучають відповідно до виразів (42):

$$B_{a,e} = B_{a,e}, \quad Q_{x,a} = 0, \quad \forall e = 1, \dots, n, \quad (44)$$

Беручи до уваги вирази (42), одержимо з системи рівнянь (35) систему нормальних рівнянь:

$$N_{y,0}^k x_{y,0}^k - n_{y,0}^k = 0,$$

у матричному вигляді:

$$\begin{vmatrix} \Sigma^n Q_{x,\xi,ee}^+ & \dots & \Sigma^n Q_{x,\xi,ee} & B_{a,e} \\ \Sigma^n B_{a,e}^T Q_{x,\xi,ee}^+ & \Sigma^n B_{a,e}^T Q_{x,\xi,ee}^+ & \dots & \dots \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x_{x,0}^k \\ x_{a,0}^k \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} -\Sigma^n Q_{x,\xi,ee} w_e \\ -\Sigma^n B_{a,e}^T Q_{x,\xi,ee}^+ w_e \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix}. \quad (45)$$

Кінематична модель (Chen, 1983), зважаючи на рівняння (41), це частковий випадок загального рішення. Перевагою цієї моделі є те, що деформації об'єкта можуть бути враховані. Незручність полягає в тому, що параметри впливу $x_{a,0}^k$ можна оцінити як різницю вимірювань в різний час. Вони безпосередні у

визначенні коефіцієнтів матриці B і залежать від точності вимірювань. Зовнішніх відомостей для визначення величин $x_{a,0}^k$ немає.

Динамічна модель деформації [5; 8; 9]. За допомогою такої моделі можна описувати об'єкти, про які відомі їх зміни форми, розмірів та/або об'єму. Для того щоби задати цю модель, потрібно знати матеріал об'єкта і його властивості, а також зовнішні сили, які діють на об'єкт. Визначення деформації об'єкта виконують за допомогою сили зміщення:

$$K \cdot a + f = 0. \tag{46}$$

Величина K є глобальною матрицею жорсткості, а вектор a відображає зміщення точки, вектор f - сили, які спричиняють ці зміщення. Якщо відомі коефіцієнти матриці жорсткості, які залежать від властивостей матеріалу об'єкта, та вектор навантажень, можна розрахувати вектор зміщення точки a . Деформацію $S(X_a)$ визначають інтерполяцією. Якщо вираз (46) визначається лінійними функціями, то оцінка виразу (46) буде простою (лінійною). Якщо навантаження об'єкта перевищує деякі межі, то матеріал починає реагувати пластично або в'язко-пластично. Динамічна модель передбачає, що функція деформації цілком задана, при цьому відомі коефіцієнти матриці $B_{a,e}$, а також матриця коефіцієнтів $Q_{x,a}$:

$$B_{a,e} = B_{a,e}, \quad Q_{x,a} = Q_{x,a}, \quad \forall e = 1, \dots, n, \tag{47}$$

Відповідна система нормальних рівнянь, яка впливає з системи рівнянь (35), буде такою

$$N_{y,0}^d x_{y,0}^d - n_{y,0}^d = 0,$$

у матричному вигляді:

$$\begin{vmatrix} \Sigma^n Q_{x,\xi,ee}^+ & \dots & \Sigma^n Q_{x,\xi,ee} & B_{a,e} \\ \Sigma^n B_{a,e}^T Q_{x,\xi,ee}^+ & Q_{x,a}^+ & \Sigma^n B_{a,e}^T Q_{x,\xi,ee}^+ & \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} x_{x,0}^d \\ x_{a,0}^d \end{vmatrix} - \begin{vmatrix} -\Sigma^n Q_{x,\xi,ee} w_e \\ -\Sigma^n B_{a,e}^T Q_{x,\xi,ee}^+ w_e \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 0 \\ 0 \end{vmatrix}. \tag{48}$$

Для прикладу візьмемо наведені в таблиці виміряні значення зміщень точок обладнання з роботи [8], і складемо 21 рівняння за виразом (46).

Таблиця

Виміряні зміщення точок обладнання і навантаження

№ точки, j	$a_{h,j}=S(h)$, мм	$a_{x,j}=S(x)$, мм	$a_{y,j}=S(y)$, мм	Навантаження f , т	Навантаження $f_{обч}$, т	Δf
1	-5,0	-12,0	5,0	1,3	- 1,1790	-0,121
2	-5,5	-10,0	7,0	1,2	- 1,1586	-0,041
3	-6,0	-4,0	15,0	1,1	- 1,0877	-0,013
4	-7,0	-3,0	10,0	1,1	- 1,0473	-0,053
5	-5,0	-7,0	9,0	0,9	- 1,0867	0,187
6	-6,5	5,0	8,0	0,9	- 0,8166	-0,083
7	-3,0	6,0	-1,0	0,8	-0,6244	-0,176
8	-4,0	-10,0	-3,0	1,0	- 1,0368	0,036
9	-2,0	-8,0	7,0	1,0	- 1,0161	0,016
10	-2,5	-5,0	-1,0	0,9	- 0,8874	-0,012

Закінчення табл.

11	-4,0	-1,0	0,0	0,8	- 0,8348	0,035
12	-5,0	-5,0	-4,0	0,9	- 0,9283	0,028
13	-7,0	0,0	5,0	0,8	- 0,9304	0,130
14	-9,0	2,0	9,0	1,2	- 0,9662	-0,234
15	-11,0	-8,0	12,0	1,3	- 1,2949	-0,005
16	-13,0	-8,0	9,0	1,4	- 1,3227	-0,077
17	-15,0	-7,0	-1,0	1,3	- 1,2671	-0,033
18	-13,5	-4,0	0,0	1,1	- 1,1605	0,060
19	-10,0	1,0	4,0	1,0	- 0,9760	-0,024
20	-9,0	2,0	7,0	0,7	- 0,9495	0,250
21	-7,0	5,0	8,0	0,7	- 0,8298	0,130

Розв'язавши ці рівняння за методом найменших квадратів (МНК), знайдемо коефіцієнти матриці жорсткості K із середньою квадратичною помилкою апроксимації $m = 0,123$:

$$K = -0,7043 + 0,0264 + 0,0251 - 0,0083.$$

Підставивши ці значення і значення зміщень a (див. табл.) у вираз (46), знайдемо значення $f_{\text{обч}}$ і різниці Δf , які близькі до нуля (тому що зміщення $a_{h,j}$, $a_{x,j}$ і $a_{y,j}$ виміряні з деякою помилкою). У загальному розв'язку цих рівнянь $\sum \Delta f = 0$, отже, знайдене рішення задовольняє рівняння (46).

Висновок. Порівнявши вирази (35) та (48), можна переконатися, що динамічна модель деформації збігається з узагальненою (динамічною) моделлю деформації, отже, її застосування може дати найкращі результати.

Порівнюючи відповідні матриці нормальних рівнянь (статичної, кінематичної та динамічної моделей), вдалося з'ясувати, що визначати функцію деформації краще за допомогою динамічної моделі. Перевагою є інтерполяційний підхід до визначення деформації. Вираз (46) являє собою складову частину загальної моделі, дає можливість розрахувати сили, які зумовлюють зміну форми, об'єму та розмірів об'єкта. Із таблиці і розрахунків коефіцієнтів матриці жорсткості K випливає, що рівняння (46) є динамічною моделлю. Якщо відомі коефіцієнти матриці жорсткості та вектор навантажень, то можна розрахувати вектори зміщення точок об'єкта a , і навпаки.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гладілін В. М. Деформації технологічного обладнання / В.М.Гладілін // Інженерна геодезія. – 1999. – № 41. – С. 31-38.
2. Гладілін В. М. Вимірювання деформацій радіохвильовими методами / В.М.Гладілін // Інженерна геодезія. – 2000. – № 43. – С. 72-75.
3. Гладілін В. М. Швидкість та прискорення деформаційного процесу / В.М. Гладілін, О. Л.Ремішевський // Інженерна геодезія. – 2001. – № 45. – С. 56-59.
4. Гладілін В. М. Визначення деформацій технологічного обладнання при періодичному навантаженні у часі/ В. М. Гладілін, О.В. Біляга // Інженерна геодезія. – 2002. – № 46. – С. 68-74.

5. Гладілін В.М. Дослідження моделі деформаційного процесу технологічного обладнання / В.М. Гладілін, П.О. Чуланов // Інженерна геодезія. – 2002. – № 48. – С. 70-77.
6. Гладілін В.М. Побудова системи автоматизованого визначення деформацій технологічного обладнання / В.М. Гладілін // Інженерна геодезія. – 2004. – № 50. – С. 34-37.
7. Гладілін В. М. Застосування теорії графів для дослідження деформацій промислового обладнання / В.М. Гладілін, П.О. Чуланов // Інженерна геодезія. – 2005. – № 51. – С. 77-82.
8. Гладілін В.М. Визначення моделі зміщення точок технологічного обладнання при деформаційних процесах / В. М. Гладілін, П.О. Чуланов, Н.С. Шудра // Інженерна геодезія. – 2015. – № 62. – С. 44-55.
9. Гладілін В. М. Моделі визначення деформацій/ В.М. Гладілін // Вісник астрономічної школи. – 2016. – Т. 12. – № 2 – С. 185-189.
10. Теоретическая физика: учебн. пособие для вузов: в 10 т. / под ред. Л.Д. Ландау, Е. М. Лифшица. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – Т.1. – 224 с.
11. Математическое моделирование / В.И. Скурихин, В.Б. Шифрин, В.В. Дубровский. – Киев: Техника, 1983. – 270 с.

REFERENCES

1. Gladilin V. N. (1999). Deformatsii tehnologichnogo obladdannia [Deformation of technological equipment]. *Inzhenerna geodeziia –Engineering geodesy*, 41, 31-38 [in Ukrainian].
2. Gladilin V. N. (2000). Vimiryuvannya deformacij radiohvilovimi metodamy [Measurement of deformations by radio wave methods]. *Inzhenerna geodeziia – Engineering geodesy*, 43, 72-75 [in Ukrainian].
3. Gladilin V.N. & Remishevskiy O.L. (2001). Shvydkist ta pryskorennia deformatsiinoho protsesu [Speed and acceleration of deformation]. *Inzhenerna geodeziia –Engineering geodesy*, 45, 56-59 [in Ukrainian].
4. Gladilin V.N. & Biliaga O.V. (2002). Vyznachennia deformatsii tekhnolohichnogo obladdannia pry periodychnomu navantazhenni u chasi. [Determination of deformations of technological equipment at the periodic loading in time]. *Inzhenerna geodeziia –Engineering geodesy*, 46, 68-74 [in Ukrainian].
5. Gladilin V.N. & Chulanov P.A. (2002). Doslidzhennia modeli deformatsiinoho protsesu tekhnolohichnogo obladdannia. [Research of model of deformation process of technological equipment]. *Inzhenerna geodeziia –Engineering geodesy*, 48, 70-77 [in Ukrainian].
6. Gladilin V.N. (2004). Pobudova systemy avtomatyzovanoho vyznachennia deformatsii tekhnolohichnogo obladdannia. [Construction of the automated determination of deformations of technological process]. *Inzhenerna geodeziia – Engineering geodesy*, 50, 34-37 [in Ukrainian].
7. Gladilin V.N. (2005). Zastosuvannia teorii hrafiv dlia doslidzhennia deformatsii promyslovoho obladdannia. [Application of theory of columns for research of determinations of technological equipment]. *Inzhenerna geodeziia – Engineering geodesy*, 51, 77-82 [in Ukrainian].

8. Gladilin V. M., Chulanov P. O., Shudra N. S. (2015). Vyznachennia modeli zmischennia tochok tekhnolohichnoho obladnannia pry deformatsiinykh protsesakh [Determination of displacement of points is the result of the deformation of process equipment]. *Inzhenerna geodeziia – Engineering geodesy*, 62, 44-55 [in Ukrainian].

9. Gladilin V. N. (2016). Modeli viznachennya deformatsij [Deformation to determine Models]. *Visnik astronomichnoyi shkoli – Astronomical Schools Report*, 2, 185-189 [in Ukrainian].

10. Landau L. D., & Lifshits E. M. (2004). Teoreticheskaya fizika [Theoretical Physics]. (Vols. 1). Moscow: FIZMATLIT [in Russian].

11. Skurihin V. I., Shifrin V. B. & Dubrovskiy V. V. (1983). Matematicheskoe modelirovanie. [Math modeling]. Kiev: Tehnika [in Ukrainian].

В. Н. Гладилін, А.О. Дубкова, П.А. Чуланов, Н.С. Шудра ДЕФОРМАЦИОННЫЕ МОДЕЛИ КАК ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Учитывая особенности деформационных процессов выполнено сравнение различных деформационных моделей: статических, динамических, кинематических для выбора наиболее достоверной модели деформации промышленного оборудования. Выяснено, что среди деформационных моделей наиболее целесообразной оказалась динамическая модель, которая позволяет по измеренным деформациям рассчитывать силы, которые вызывают изменения формы и размеров объектов, а также влияют на их целостность.

Ключевые слова: статическая, кинематическая и динамическая модели деформаций промышленного оборудования.

V. Gladilin, A. Dubkova, P. Chulanov, N. Shudra DEFORMATIONS MODELS FROM PHYSICAL PROCESS

To date, many functions have been developed for obtaining the values of horizontal and vertical deformations that occur mostly in the resulting pellet structures and industrial equipment, as well as the resulting additional pressure (hydroelectric dams). Some authors suggest such advanced mathematical functions that approximate as general methods for the determination of deformations, which does not quite reflect the reality. The article describes a model strain as physical processes. When comparing static, cinematic and dynamic models, it was found that the dynamic model of the most reliably reflects the deformation of structures and industrial equipment.

Deformation processes greatly affect the accident – free and non – stop operation of industrial equipment, since deformations can lead to shutdown of equipment (modern conveyer lines of large capacity for assembling cars) to the complete elimination of these determinations, and hence to large economic costs.

If the material from which the equipment is made is known, constant and periodic loads are known and the displacement of equipment points are measured by the dynamic model, it is possible to determine the forces that cause these displacements and deformations themselves. If the deformations are within acceptable limits, then the

equipment operation continues, otherwise the equipment must be stopped to eliminate deformations; at best, deformation can be eliminated without stopping the equipment.

Keywords: *static, cinematic and dynamic models deformations industrial equipment.*

Надійшла до редакції

13.04.2019

УДК 528.1

<https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.66.63-74>

О. І. Терещук, канд. техн. наук, доцент,
С. Д. Крячок, канд. техн. наук, доцент
кафедра геодезії, картографії та землеустрою
Чернігівський національний технологічний університет

АНАЛІЗ КРИТЕРІЇВ ВРАХУВАННЯ ЗАЛИШКОВИХ СИСТЕМАТИЧНИХ ПОХИБОК У РЕЗУЛЬТАТАХ ПОДВІЙНИХ РІВНОТОЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

У роботі розглянуто чутливість різних критеріїв до величин залишкових систематичних похибок у різницях подвійних рівноточних вимірів залежно від законів розподілу різниць та їх кількості у вибірці. За результатами математичного моделювання встановлено, що розглянуті критерії можуть мати різну чутливість до величини середнього значення різниць залежно від кількості різниць у вибірці та закону їх розподілу. Найбільш стабільним й оптимальним з розглянутих критеріїв є нерівність, що регламентує абсолютну величину середнього значення з різниць подвійних вимірів, яка не перевищує однієї п'ятої від середньої квадратичної похибки цих різниць. Встановлено, що цей критерій є стійким до кількості різниць подвійних вимірів у вибірці, закону їх розподілу та потребує найменшої кількості обчислень порівняно з іншими розглянутими критеріями.

Ключові слова: *теорія похибок вимірів; середня квадратична похибка; систематична похибка; подвійні рівноточні вимірювання; математичне моделювання.*

Вступ. Під час виконання геодезичних робіт деякі величини вимірюють двічі, утворюючи ряд подвійних вимірювань, за яким можна виконати оцінку точності та визначити ймовірні значення вимірювань. Систематичні похибки, які містяться в кожному з подвійних вимірювань, здатні частково компенсуватися в різницях подвійних вимірювань, однак залишкові систематичні складові можуть бути суттєвими. Для виявлення залишкових систематичних похибок в різницях подвійних вимірів застосовують різні критерії.

Аналіз досліджень і публікацій. Слід зазначити, що розглядаються подвійні вимірювання, рівноточні між собою та в кожній парі. В роботах [1; 2] наведено

© О.І. Терещук, С.Д. Крячок, 2019

нерівність, яка має бути справедливою за незначних залишкових систематичних похибок:

$$\left| \sum_{i=1}^n d_i \right| \leq 0,25 \sum_{i=1}^n |d_i|, \quad (1)$$

де d_i – різниці подвійних вимірювань, n – кількість різниць d_i .

Згідно з цим критерієм значення d_i підпорядковуються нормальному законові розподілу похибок вимірювань [1].

У статті [3] наведено критерій незначних систематичних похибок:

$$\left| \sum_{i=1}^n d_i \right| \leq 1,25 \cdot t_\beta \sum_{i=1}^n |d_i| / \sqrt{n}, \quad (2)$$

де t_β – коефіцієнт Стюдента, який визначають залежно від кількості надлишкових вимірювань та обраної довірчої ймовірності.

Реально для $n > 28$ та для довірчої ймовірності $P = 0,95$ критерій (2) має такий вигляд [3]:

$$\left| \sum_{i=1}^n d_i \right| \leq 2,5 \sum_{i=1}^n |d_i| / \sqrt{n}. \quad (3)$$

Згідно з публікацією [4] брак значних залишкових систематичних похибок у різницях подвійних рівноточних вимірювань підтверджується критерієм

$$|\theta| \leq \frac{2m}{\sqrt{n}}, \quad (4)$$

де θ – середня систематична похибка, яка дорівнює

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}, \quad (5)$$

а середню квадратичну похибку (СКП) одного вимірювання визначають за формулою:

$$m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d'_i)^2}{2(n-1)}}, \quad (6)$$

де виправлені різниці d'_i розраховують за формулою

$$d'_i = d_i - \theta. \quad (7)$$

Наведений критерій передбачає нормальний закон розподілу різниць, оскільки в чисельнику формули (3) добуток $2m$ є відповідним граничній похибці, прийнятій в геодезії для довірчої ймовірності $P = 0,95$ [4].

Заслуговує на увагу твердження, наведене в літературі [1], згідно з яким «прийнято нехтувати систематичною похибкою в окремих вимірах, якщо вона докладає в сумарну похибку не більше $1/5$ її величини». Виходячи з цього, для визначення незначного відхилення (θ) від нуля для рівноточних вимірювань вважають, що

$$|\theta| \leq 0,2m_d. \quad (8)$$

У такому разі СКП однієї різниці d визначають за формулою [1]:

$$m_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n}}. \quad (9)$$

Критерій за формулою (8) не потребує підпорядкування різниць d_i будь-якому закономірному розподілу.

Аналіз наведених публікацій свідчить про наявність кількох критеріїв з визначення залишкової систематичної похибки в різницях подвійних рівноточних вимірювань. Згідно з дослідженнями, наведеними в статтях [3; 5], критерії за формулами (1) та (3) можуть давати в конкретному випадку протилежні результати, навіть якщо $n = 30$. Зокрема, за результатами опрацювання ряду подвійних рівноточних вимірювань для $n = 10$ та $t_\beta = 1,8$ за довірчої ймовірності $P=0,9$ критерії за формулами (2) та (3) дають протилежні результати. Недослідженим є застосування наведених критеріїв для різних законів розподілу різниць подвійних рівноточних вимірювань та чутливості їх до значень залишкових систематичних похибок у результатах подвійних рівноточних вимірювань залежно від кількості різниць у вибірці.

Постановка завдання. Головною метою цієї статті є дослідження чутливості критеріїв до величин залишкових систематичних похибок у різницях подвійних рівноточних вимірювань залежно від законів розподілу різниць та кількості їх у вибірці.

Основна частина. В роботі [3] автори стверджують, що для обчислення СКП m'_d різниць d'_i подвійних вимірювань, звільнених від систематичної складової θ , у формулі

$$m_{d'} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i'^2}{n-1}} \quad (10)$$

у знаменнику потрібно мати кількість вимірів n , а не $n-1$. Такий підхід підтверджується формулою

$$m_{d'} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n} - \theta^2}. \quad (11)$$

Дійсно, якщо взяти до уваги формулу (7) та піднести її праву та ліву частини до квадрата

$$(d'_i)^2 = d_i^2 + \theta^2 - 2d_i\theta, \quad (12)$$

то сума квадратів лівої та правої частини формули (12) набуде такого вигляду:

$$\sum_{i=1}^n (d'_i)^2 = \sum_{i=1}^n d_i^2 + n\theta^2 - 2\theta \sum_{i=1}^n d_i. \quad (13)$$

Беручи до уваги значення θ за формулою (5) і підставивши її у вираз (13), матимемо контрольну формулу для обчислення $\sum_{i=1}^n (d'_i)^2$ [1]:

$$\sum_{i=1}^n (d'_i)^2 = \sum_{i=1}^n d_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n d_i)^2}{n}. \quad (14)$$

Якщо поділити праву та ліву частини формули (14) на n , отримаємо:

$$\frac{\sum_{i=1}^n (d'_i)^2}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^2}{n} - \frac{(\sum_{i=1}^n d_i)^2}{n^2}, \quad (15)$$

або з огляду на рівності (5) та (9) матимемо:

$$m_{d'} = \sqrt{m_d^2 - \theta^2}. \quad (16)$$

Вираз (16) збігається з формулою (11). Таким чином, математично підтверджено підхід для обчислення СКП m'_d різниць d'_i подвійних вимірювань, звільнених від систематичної складової θ , запропонований у роботі [3].

Варто додати, що з формули (16) випливає відома математична модель зв'язку СКП випадкової і систематичної складових та загальної СКП (формула Б'єнеме) [6], яка з огляду на рівність (16) має вигляд

$$m_d = \sqrt{m_{d'}^2 + \theta^2}. \quad (17)$$

Крім того, якщо поділити ліву та праву частини формули (14) на $n-1$, то в лівій частині отримаємо вираз (10), а в правій частині – некоректний вираз.

З метою досягнення поставленої мети було виконане математичне моделювання з використанням таких вихідних даних. Спочатку побудовано достатньо велику вибірку з $d_i=100$, що не суперечить нормальному закону розподілу. За довірчу ймовірність взято $P=0,95$ як таку, що є найчастіш застосовуваною для опрацювання результатів геодезичних вимірювань. Математичне сподівання $M(d)$ різниць двох рівноточних вимірів l та l' однієї тієї самої величини L дорівнює $M(d) = M(l-l') = M(l) - M(l') = L - L = 0$, якщо в значеннях d_i немає систематичної складової. Отже, щільність нормального розподілу в такому разі за умови, що випадкова величина $x = d$, визначається за формулою [1]

$$\varphi(d) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[d-M(d)]^2}{2\sigma^2}} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{d^2}{2\sigma^2}}, \quad (18)$$

що збігається з формулою для щільності нормованого нормального розподілу. Тому для значень d_i , які попадають у відповідні інтервали від $-2d$ до $+2d$, були використані таблиці значень інтеграла ймовірностей [1] у вигляді виразу

$$\Phi(d) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^d e^{-\frac{d^2}{2}} d(d). \quad (19)$$

Значення d_i , які попадають у відповідні додатні інтервали від 0 до $2d$, були визначені за допомогою генератора випадкових чисел. Симетричні від'ємні значення $-d_i$ збігалися з додатними значеннями для дотримання початкової умови $\sum d = 0$. У підсумку отримано значення різниць d_i (табл. 1).

Таблиця 1

Ряд значень різниць d_i у кількості $N = 100$

i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,01	0,21	0,43	0,79	1,28	-0,01	-0,21	-0,43	-0,79	-1,28
2	0,01	0,24	0,44	0,83	1,28	-0,01	-0,24	-0,44	-0,83	-1,28
3	0,06	0,25	0,45	0,85	1,32	-0,06	-0,25	-0,45	-0,85	-1,32
4	0,07	0,26	0,52	0,85	1,43	-0,07	-0,26	-0,52	-0,85	-1,43
5	0,1	0,29	0,59	0,86	1,51	-0,1	-0,29	-0,59	-0,86	-1,51
6	0,11	0,31	0,62	0,94	1,55	-0,11	-0,31	-0,62	-0,94	-1,55
7	0,11	0,36	0,68	1,02	1,63	-0,11	-0,36	-0,68	-1,02	-1,63
8	0,13	0,38	0,72	1,02	1,67	-0,13	-0,38	-0,72	-1,02	-1,67
9	0,13	0,41	0,75	1,11	1,86	-0,13	-0,41	-0,75	-1,11	-1,86
10	0,15	0,43	0,78	1,19	1,91	-0,15	-0,43	-0,78	-1,19	-1,91

Для перевірки відповідності угруповання d_i нормальному законові використано критерій Пірсона [1]:

$$\chi^2 = \sum_1^m \frac{(n_i - Np_i)^2}{Np_i}, \quad (20)$$

де n_i – кількість d_i в інтервалі під номером i , N – загальна кількість d_i , $p_i = 0,5 \cdot \Delta\Phi_i(d)$ – ймовірність появи значень d_i в інтервалі під номером i згідно з таблицею значень інтеграла ймовірностей [1], m – кількість інтервалів.

У підсумку (табл. 2) отримано значення $\chi^2 = 1,916$ для кількості інтервалів $k = 10$, числа ступенів довільності $10 - 3 = 7$ та $q = 1 - P = 1 - 0,95 = 0,05$, а також отримано табличне значення $\chi_q^2 = 14,1$. Оскільки $\chi^2 < \chi_q^2$, то розподіл d_i не суперечить нормальному.

Таблиця 2

Статистичний ряд розподілу d_i , застосування критерію Пірсона, ординати гістограми ($N = 100$)

№ інтервалу	l	n	$Q = n/N$	$\Phi(t)$	$p = \Delta\Phi/2$	$A = N \cdot p$	$B = (n - A)^2$	B/A	$Q/0,4$	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-2,2 – 1,8	2	0,02	0,9722	0,0221	2	0	0	0,05	0,054
2	-1,8 -1,4	5	0,05	0,9281	0,0448	4	1	0,25	0,125	0,111
3	-1,4 -1,0	7	0,07	0,8385	0,0780	8	1	0,125	0,175	0,194
4	-1,0 -0,6	11	0,11	0,6826	0,1156	12	1	0,083	0,275	0,290
5	-0,6 -0,2	15	0,15	0,4514	0,1480	15	0	0	0,375	0,368
6	-0,2 2,0	20	0,2	0,1554	0,1554	16	16	1	0,5	0,399
7	0,2 0,6	15	0,15	0,4514	0,1480	15	0	0	0,375	0,368
8	0,6 1,0	11	0,11	0,6826	0,1156	12	1	0,083	0,275	0,290
9	1,0 1,4	7	0,07	0,8385	0,0780	8	1	0,125	0,175	0,194
10	1,4 1,8	5	0,05	0,9281	0,0448	4	1	0,25	0,125	0,111
11	1,8 2,2	2	0,02	0,9722	0,0221	2	0	0	0,05	0,054
Σ		100	1,00		0,9722	98		1,916		

Згідно з даними, розміщеними у стовпчиках 10 та 11 табл. 2, побудовано гістограму вибіркового розподілу d_i та відповідну криву щільності нормального нормованого розподілу (рис. 1), яка свідчать про добру узгодженість розподілів.

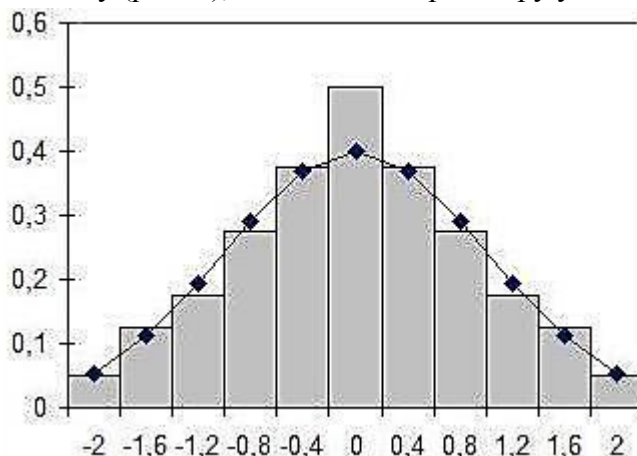


Рис.1. Гістограма вибіркового розподілу та крива щільності нормованого нормального розподілу

Під час математичного моделювання за допомогою програмного засобу Excel до значень d_i додавали додатні величини c з дискретністю 0,01, імітуючи появу середньої систематичної похибки θ ($\theta = c$). Гістограма вибіркового розподілу в цьому випадку зміщувалась праворуч (див. рис. 1).

У результаті виявлено наявність систематичної складової $\theta=0,13$ критерію №4. В цьому випадку зауважуємо також однакову чутливість критеріїв №1-№3 та №5 до наявності систематичної похибки $\theta=0,18$ (табл. 3). Це й зрозуміло, оскільки в основі критеріїв №1-№3 міститься нерівність (8), яка утворює критерій №5.

Таблиця 3

Чутливість критеріїв до систематичної складової θ

N	№ критерію	№ формули	Значення		θ	Коефіцієнт Стьюдента	m_d	$k = \frac{\theta}{m_d}$
			ліворуч	праворуч				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
100*	1	1	18,0	17,9	0,18	-	0,893	0,20
	2	2	18,0	17,8	0,18	1,99 [7]	0,893	0,20
	3	3	18,0	17,9	0,18	-	0,893	0,20
	4	4	0,130	0,124	0,13	-	0,885	0,15
	5	8	0,180	0,179	0,18	-	0,893	0,20
10*	1	1	8,0	7,6	0,8	-	3,130	0,26
	2	2	37,0	37,0	3,7	2,23 [7]	4,780	0,77
	3	3	32,0	31,62	3,2	-	4,405	0,73
	4	4	0,600	0,535	0,6	-	3,085	0,19
	5	8	0,700	0,621	0,7	-	3,106	0,22
30**	1	1	21,0	20,9	0,7	-	3,229	0,22
	2	2	42,0	42,0	1,4	2,4 [7]	3,449	0,41
	3	3	42,0	40,71	1,4		3,449	0,41
	4	4	0,900	0,828	0,9		3,278	0,27
	5	8	0,700	0,646	0,7		3,229	0,22

* - нормальний розподіл; ** - рівноймовірний розподіл

Наступну тестову вибірку (табл. 4) обсягом $N = 10$ запозичено зі статті [3]. Виконано тестування вибірки на відповідність нормальному розподілу за критерієм Колмогорова за стандартною процедурою, наведеною в роботі [1]. З'ясовано, що вибірка значень d_i не суперечить нормальному розподілу.

Таблиця 4

Вибірка d_i обсягом $N=10$ та застосування до неї критерію Колмогорова

№	d_i	z_i	$F'(z_i)$	$F(z_i)$	D_i	№	d_i	z_i	$F'(z_i)$	$F(z_i)$	D_i
1	-5,2	-1,718	0,05	0,043	0,007	6	1,8	0,595	0,55	0,724	-0,174
2	-4,2	-1,388	0,15	0,0825	0,0675	7	1,8	0,595	0,65	0,724	-0,074
3	-4,2	-1,388	0,25	0,0825	0,1675	8	1,8	0,595	0,75	0,724	0,026
4	0,8	0,264	0,35	0,604	-0,254	9	2,8	0,925	0,85	0,877	-0,027
5	1,8	0,595	0,45	0,724	-0,274	10	2,8	0,925	0,95	0,877	0,073

$\bar{d} = 0$; $m_d = 3,027$; $|D_{max}|=0,274$; $D_q=0,41$ ($q = 1 - 0,95 = 0,05$; $n = 10$) [1]; $|D_{max}| < D_q$.

Результати математичного моделювання наведено в табл. 3, у якій найбільш чутливими до значення систематичної похибки є критерії №4 ($\theta = 0,6$) та №5 ($\theta = 0,7$), далі – №1, №3, №2. Як видно з наведеного, незначний обсяг вибірки призвів до неузгодженості критерію 1, а особливо критеріїв 2, 3 і 5.

Для визначення чутливості критеріїв до іншого виду розподілу, окрім нормального, утворено вибірку значень d_i у кількості $N = 30$, які повинні підпорядковуватися рівноймовірному законові розподілу (табл. 5). Значення d_i , об'єднані у шість інтервалів (табл. 6) по п'ять елементів у кожному, утворили статистичний ряд розподілу. Значення d_i у кожному інтервалі добирали за допомогою генератора випадкових чисел, причому значення d_i у від'ємних інтервалах є копією значень у додатних інтервалах, що забезпечує симетричний розподіл.

Таблиця 5

Ряд значень d_i у кількості $N = 30$

i/j	1	2	3	4	5	6
1	-4,8	-3,6	-1,5	0,1	2,6	4,2
2	-4,5	-3,5	-0,7	0,3	2,7	4,2
3	-4,3	-3,1	-0,5	0,5	3,1	4,3
4	-4,2	-2,7	-0,3	0,7	3,5	4,5
5	-4,2	-2,6	-0,1	1,5	3,6	4,8

Інтегральну функцію рівноймовірного симетричного розподілу похибок d_i в інтервалі $-b \leq x \leq b$ можна описати залежністю [1]

$$F(d) = \frac{x+b}{2b}, \tag{21}$$

а щільність рівноймовірного симетричного розподілу – виразом

$$\varphi(d) = \frac{1}{2b}. \tag{22}$$

Значення $F(d)$ у стовпчику №5 (табл. 6) обчислено за формулою (21) ($b=6$): для від'ємних інтервалів – для лівих меж інтервалів, для додатних – для правих меж.

Таблиця 6

Статистичний ряд розподілу d_i ($N=30$)

№ інтервалу	l	n	$Q = n/N$	$F(d)$	$\Delta F(d)$	$A = N \cdot p$	$Q/2$	y
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-6 -4	5	0,167	0	0,167	5	0,083	0,083
2	-4 -2	5	0,166	0,167	0,166	5	0,083	0,083
3	-2 -0	5	0,167	0,333	0,167	5	0,083	0,083
4	0 2	5	0,167	0,667	0,167	5	0,083	0,083
5	2 4	5	0,166	0,833	0,166	5	0,083	0,083
6	4 6	5	0,167	1	0,167	5	0,083	0,083
Σ		30	1,000		1,000	30		

$$F(0) = 0,5$$

Значення різниць $\Delta F(d)$ у шостому стовпчику визначено з урахуванням $F(0) = 0,5$. Для побудови гістограми розподілу були визначені висоти прямокутників гістограми (8-й стовпчик) і теоретичні значення щільності цього рівномірного розподілу (9-й стовпчик) за формулою (22).

За результатами розрахунків побудовано гістограму вибіркового розподілу та пряму теоретичної щільності рівномірного розподілу. Положення прямої теоретичної щільності на гістограмі свідчить про узгодженість щільності вибіркового й теоретичного розподілів (рис. 2).

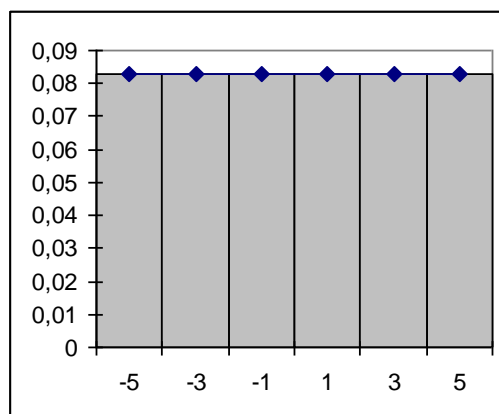


Рис.2. Гістограма вибіркового розподілу та пряма теоретичної щільності рівномірного розподілу

На підставі значень d_i , наведених у табл. 5, було виконане математичне моделювання, результати якого наведено в табл. 3. Виявлено, що однакову та вищу чутливість мають критерії №1 та №5 ($\theta=0,7$), меншу – критерії №4 ($\theta=0,9$) та №2 і №3 $\theta=1,4$.

Отже, найбільш поширеними в наведених джерелах є критерії за №1 - №3 (формули (1) – (3)). У разі значного обсягу значень різниць подвійних рівноточних вимірів ці критерії свідчать про однакову чутливість до величини середнього значення залишкових систематичних похибок у різницях за умови близькості розподілу різниць до нормального. Для малих обсягів різниць характерним є неузгодження чутливості цих критеріїв, що спричиняє протилежні оцінки допустимої величини середнього значення залишкових систематичних похибок. Таке неузгодження виникає і тоді, коли закон розподілу різниць відрізняється від нормального. Найбільш чутливим серед вказаних критеріїв є перший – у разі малого обсягу різниць та відмінності їх розподілу від нормального.

Наступний, четвертий, критерій має найвищу серед розглянутих критеріїв чутливість до величини середнього значення залишкових систематичних похибок у різницях подвійних рівноточних вимірів незалежно від обсягу вибірки та дещо меншу чутливість, якщо розподіл різниць відрізняється від нормального.

Критерій №5 (формула (8)) має однакову з критеріями №1 – №3 чутливість до величини середнього значення залишкових систематичних похибок у різницях подвійних рівноточних вимірів у разі значного обсягу значень різниць, проте за малих обсягів різниць його чутливість близька до критерію №4. Якщо розподіл різниць відрізняється від нормального, то цей критерій має високу чутливість на рівні критерію №1.

Найбільш оптимальним з-поміж розглянутих є критерій за №5 (формула (8)) з таких міркувань. Цей критерій не залежить від виду розподілу значень різниць подвійних рівноточних вимірів, величин обсягів різниць та ґрунтується на твердженні, що систематична складова θ за модулем не повинна перевищувати $1/5 = 0,2$ загальної СКП m_d (яка містить випадкову та систематичну складові), що виражається формулою (8). Такий підхід, коли $0 \leq \theta \leq 0,2m_d$, дає змогу отримати $1 \geq m_d \geq 0,980m_d$, тобто випадкова складова m_d у такому разі буде зменшена лише на $100\% - 98\% = 2\%$ загальної складової m_d . Про стабільність утримання співвідношення між систематичною складовою θ та загальною СКП m_d свідчить коефіцієнт $k = \theta/m_d$, значення якого є близьким до 0,2 незалежно від виду розподілу різниць й обсягу. Іншим критеріям така стабільність не властива.

Крім того, критерій потребує мінімуму розрахунків, оскільки для обчислення складових критерію не потрібно визначати абсолютні величини різниць та їх суму, як для критеріїв №1 – №3, або знаходити різниці, вільні від середнього значення систематичних складових (формула (7)) та обчислювати СКП випадкової складової за формулою (6), як для критерію №4.

Висновки. За даними математичного моделювання встановлено, що розглянуті критерії для виявлення залишкових систематичних похибок у різницях подвійних рівноточних вимірів можуть мати різну чутливість до величини середнього значення різниць залежно від кількості різниць у вибірці та закону їх розподілу. Найбільш стабільним й оптимальним з-поміж розглянутих критеріїв є нерівність, яка підтверджує, що абсолютна величина середнього значення з

різниць подвійних вимірів не повинна перевищувати однієї п'ятої від середньої квадратичної похибки цих різниць. Цей критерій стійкий до кількості різниць подвійних вимірів у вибірці, закону їх розподілу та потребує найменшої кількості обчислень порівняно з розглянутими критеріями.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Войтенко С. П.* Математична обробка геодезичних вимірів. Теорія похибок вимірів [Текст]: навч. посіб. / С. П. Войтенко. – К.: КНУБА, 2003. – 216 с.
2. *Зазуляк П. М.* Основи математичного опрацювання геодезичних вимірювань [Текст]: навч. посіб. / П.М. Зазуляк, В.І. Гавриш, Е.М. Євсєєва, М.Д. Йосипчук. – Львів: Растр 7, 2007. – 408 с.
3. *Рябій В.А.* Математичне обробка результатів подвійних рівноточних вимірів [Текст] / В.А. Рябій, В.В. Рябій // Геодезія, картографія і аерофотознімання. - 2015. – Вип. 81. - С. 74-81.
4. *Оцінка* точності за різницями подвійних рівноточних вимірів [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://kaf-gis.kh.ua/72-ocinka-tochnosti-za-riznicyami-podviynih-rivnotochnih-vimiriv>. – Назва з екрана. – Дата звернення 11.12. 2018.
5. *Рябій В.А.* Математичне опрацювання результатів подвійних нерівноточних вимірів [Текст] / В.А. Рябій, В.В. Рябій // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. - 2015. – Вип. I (29). - С. 33-38.
6. *Видуев Н.Г.* Вероятностно-статистический анализ погрешностей измерений [Текст] / Н.Г. Видуев, Г.С. Кондра. – М.: Недра, 1969. – 320 с.
7. *Жученко А.І.* Опрацювання параметрів та перевірка статистичних гіпотез. Теорія та практика роботи з MathCAD, MatLab, MS Excel [Текст]: навч. посіб. / А.І. Жученко, Л. Д. Ярощук. – К.:НТУУ «КПІ», 2012. – 156 с.

REFERENCES

1. Voytenko, S. P. (2003). Matematychna obrobka heodezychnykh vymiriv. Teoriya pokhybok vymiriv [Mathematical processing of geodetic measurements. Theory of measurement errors]. Kyiv: KNUBA [in Ukrainian].
2. Zazulyak P.M. (2007). Osnovy matematychnoho opratsyuvannya heodezychnykh vymiryuvan [Fundamentals of mathematical processing of geodetic measurements] Lviv: Rastr [in Ukrainian].
3. Ryabiy, V.A., & Ryabiy, V.V. (2015). Matematychna obrobka rezul'tativ podviynykh rivnotochnykh vymiriv [Mathematical treatment of the results of double homogeneous measurements]. Heodeziya, kartohrafiya i aerofotoznimannya - Geodesy, cartography and aerial photography, 81, 74-81 [in Ukrainian].
4. Otsinka tochnosti za riznytsyamy podviynykh rivnotochnykh vymiriv [Estimation of the accuracy of the differences in double homogeneous measurements]. Retrieved from <http://kaf-gis.kh.ua/72-ocinka-tochnosti-za-riznicyami-podviynih-rivnotochnih-vimiriv> [in Ukrainian].
5. Ryabiy, V.A., & Ryabiy, V.V. (2015). Matematychne opratsyuvannya rezul'tativ podviynykh nerivnotochnykh vymiriv [Mathematical analysis of the results of double non-uniform measurements] Cuchasni dosyahnennya heodezychnoyi nauky ta

vyrobnytstva - Contemporary achievements in geodetic science and production, 1 (29), 33-38 [in Ukrainian].

6. Viduyev, N.G., & Kondra, G.S. (1969). Veroyatnostno-statisticheskiiy analiz pogreshnostey izmereniy [Probabilistic-statistical analysis of measurement errors]. Moskva: Nedra [in Russian].

7. Zhuchenko A.I., & Yaroshchuk, L. D. (2012). Opratsyuvannya parametriv ta perevirka statystychnykh hipotez. Teoriya ta praktyka roboty z MathCAD, MatLab, MS Excel [Working out parameters and checking statistical hypotheses. The theory and practice of working with MathCAD, MatLab, MS Excel]. Kyiv: NTUU "KPI" [in Ukrainian].

A. И. Терещук, С. Д. Крячок

АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ УЧЕТА ОСТАТОЧНЫХ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ В РЕЗУЛЬТАТАХ ДВОЙНЫХ РАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В работе рассмотрена чувствительность различных критериев к величинам остаточных систематических погрешностей в разностях двойных равноточных измерений в зависимости от законов распределения разностей и их количества в выборке. По результатам математического моделирования установлено, что рассмотренные критерии могут иметь разную чувствительность к величине среднего значения разностей в зависимости от количества разностей в выборке и закона их распределения.

На основании результатов проведенного анализа наиболее стабильным и оптимальным из рассмотренных критериев является неравенство, регламентирующее абсолютную величину среднего значения из разностей двойных измерений, что не превышает одной пятой от средней квадратичной погрешности этих разностей. Установлено, что этот критерий устойчив к числу разностей двойных измерений в выборке, закону их распределения и требует наименьшего количества вычислений по сравнению с рассмотренными критериями.

***Ключевые слова:** теория погрешностей измерений; средняя квадратическая погрешность; систематическая погрешность; двойные равноточные измерения; математическое моделирование.*

O. Tereshchuk, S. Kryachok

ANALYSIS OF CRITERIA FOR ACCOUNTING RESIDUAL SYSTEMATIC ERRORS IN THE RESULTS OF DOUBLE EQUALIZED MEASUREMENTS

The study of issues of improving the accuracy of geodetic measurements by identifying, recording and minimizing the influence of systematic errors always remain relevant and are in the special attention of geodesists.

It is known that when performing double measurements, systematic errors in their differences are partially compensated, but the residual systematic components can be significant.

To identify residual systematic errors, there are various criteria, the study of the sensitivity of which to the values of residual systematic errors in the differences of double equal-value measurements depending on the laws of distribution of differences and their number in the sample is devoted to this work. In the article, according to the results of mathematical modeling, it was established that the criteria considered for identifying residual systematic errors in the differences of double equal measurements may have different sensitivity to the average value of differences depending on the number of differences in the sample and the law of their distribution.

Based on the results of the analysis performed, the most stable and optimal of the considered criteria is the inequality regulating the absolute value of the average value of the differences in double measurements, which does not exceed one-fifth of the mean square error of these differences. It is established that this criterion is resistant to the number of differences in double measurements in the sample, the law of their distribution, and requires the least amount of calculations as compared with the considered criteria.

Keywords: *theory of measurement errors; mean square error; systematic error; double equal measurements; math modeling.*

Надійшла до редакції

15.04.2019

УДК 528.48

<https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.66.74-84>

Ю.В. Медведський, канд. техн. наук, ас. кафедри інженерної геодезії
Київський національний університет будівництва і архітектури

ВИКОРИСТАННЯ АВТОРЕГРЕСІЇ В ЗАДАЧІ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА ОСІДАННЯМИ СПОРУД

У роботі розглянуто підхід до вирішення задачі прогнозування значень осідань споруд на підставі малої вибірки спостережень. Виконано аналіз існуючих математичних алгоритмів прогнозування рядів вимірювань на основі застосування авторегресійних функцій типу ARIMA. Проведено порівняння результатів роботи алгоритмів прогнозування значень відміток контрольних точок в безкоштовному та платному програмному забезпеченні, за яким визначено малу відмінність між ними. Виконано аналіз впливу рангу моделі ARIMA на точність прогнозування ряду вимірів, що дозволив зробити висновки про відсутність суттєвого підвищення якості прогнозної моделі з підвищенням її рангу більше двох. Проведено аналіз можливості використання алгоритму ARIMA при наявності динамічного процесу осідання споруди, що підтвердив можливість прогнозування на один і два кроки вперед. Встановлено, що запропонована модель прогнозування значень осідань на підставі авторегресійної функції з ковзаючим середнім має високий рівень прогнозування за малою

вибіркою даних та дозволяє проводити математично обґрунтовані роботи з планування циклів спостережень за процесом осідання споруд.

Ключові слова: авторегресійна функція, ARIMA, осідання споруд, геодезичний моніторинг, методи прогнозування.

Вступ. На сучасному етапі розвитку та урбанізації міст висотні споруди і складні комплекси споруд проектують серед вже наявної інфраструктури міста. Така практика сприяє високій ймовірності виникнення небезпечних наслідків під час їх експлуатації, які викликані процесами осідання цих споруд. Тому актуальним є не тільки спостереження за осіданнями фундаментів і кренів споруд, але і їх прогноз в короткостроковий і довгостроковий періоди. Досить гостро постає проблема, коли мова йде про великі об'єкти чи комплекси, виконання робіт по спостереженню за осіданням яких є трудомісткою роботою. У випадку відсутності систем моніторингу на об'єкті необхідно визначати періодичність виконання циклів спостережень, яка б задовільнила з одного боку потреби в надійному спостереженні за величинами осадок та динамікою процесу з метою попередження руйнації споруди чи її частин, а з іншого боку влаштувала замовника з точки зору вартості виконання спостережень. Прогнозування величин осідання споруди за малою вибіркою даних, дозволить об'єктивно визначити необхідну частоту проведення спостережень, забезпечивши якість виконання геодезичних робіт.

Аналіз досліджень та публікацій. У статті Барана П.І. [1] розглянуто можливість удосконалення методу апроксимації експоненціальною функцією, яка використовується в роботах Н.Г. Відуєва і В.С. Староверова [2]. У науковій роботі [3] запропоновано виконувати моделювання процесу осідання дрібно-раціональної функцією. Прогнозуванням за методом граничних елементів осідання займався А.С. Моргун [4]. Методами обробки геодезичних вимірювань та прогнозування осідань споруд за результатами геодезичних спостережень займаються також зарубіжні вчені Ю.П. Гуляєв [5-7] і В.С. Хорошилов [8]. У роботі [8] детально описується поетапне виконання процедури математичного моделювання процесів деформації споруди за результатами геодезичних даних, отриманих в період будівництва та експлуатації висотного будинку МГУ. У монографії [9] наводиться обґрунтування вибору того чи іншого періоду спостережень, оцінка нормальності розподілу процесу осідання споруди і алгоритм побудови прогнозної кінематичної моделі.

Постановка завдання. Метою роботи є перевірка можливості використання простих в реалізації моделей в задачі прогнозування значень осідання за малою вибіркою даних, що дасть змогу виконувати обґрунтоване планування циклів спостережень.

Викладення основного матеріалу. Протягом довгого часу для прогнозування осідань використовують регресійні алгоритми. Коротко суть алгоритмів такого класу можна описати так.

Існує прогнозована змінна Y (залежна змінна) і відібраний заздалегідь комплект змінних від яких вона залежить - X_1, X_2, \dots, X_N (незалежні змінні).

Модель множинної регресії в загальному випадку описується виразом:

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n) + \varepsilon. \quad (1)$$

У більш простому варіанті лінійної регресійної моделі залежність залежної змінної від незалежних має вигляд:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_N X_N + \varepsilon, \quad (2)$$

де $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_N$ – підбрані коефіцієнти регресії, ε – компонента помилки. Передбачається, що всі помилки незалежні і нормально розподілені.

Для побудови регресійних моделей необхідно мати базу даних спостережень. Наближений вигляд бази даних представлено у вигляді табл. 1.

Таблиця 1

Вигляд бази даних для регресивного аналізу

№	змінні				залежна
	незалежні				
	x_1	x_2	...	x_N	Y_N
1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1N}	Y_1
2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2N}	Y_2
...
m	x_{m1}	x_{m2}	...	x_{mN}	Y_m

За допомогою таблиці значень минулих спостережень можна підібрати (наприклад, методом найменших квадратів) коефіцієнти регресії і налаштувати модель.

Під час роботи з регресією потрібно бути обережним і обов'язково перевірити на адекватність знайдені моделі. Такий підхід дає змогу впевнитися в достовірності прогнозованого ряду за відсутності контрольного набору.

Методи Боксу-Дженкінса (ARIMA). В середині 90-х років минулого століття був розроблений принципово новий і досить потужний клас алгоритмів для прогнозування часових рядів. Велику частину роботи по дослідженню методології та перевірці моделей була проведена двома статистиками, Г.Е.П. Боксом (G.E.P. Box) і Г.М. Дженкінсом (G.M. Jenkins). З тих пір побудова подібних моделей і отримання на їх основі прогнозів іноді називають методами Боксу-Дженкінса. Це сімейство містить в собі кілька алгоритмів, найвідомішим і використовуваним з них є алгоритм ARIMA. Він вбудований практично в будь-який спеціалізований пакет для прогнозування. У методології ARIMA не передбачено будь-якої чіткої моделі для прогнозування даної тимчасової серії, задається лише загальний клас моделей, що описують часовий ряд і дають змогу певним чином виражати поточне значення змінної через її попередні значення. Потім алгоритм, підлаштовуючи внутрішні параметри, сам обирає найбільш доцільну модель прогнозування. Авторегресійна модель AR порядку p має вигляд:

$$Y_t = \varphi_0 + \varphi_1 Y_{t-1} + \varphi_2 Y_{t-2} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + \varepsilon_t, \quad (3)$$

де Y_t - залежна змінна в момент часу t ; $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$ - оцінювані параметри; $\varepsilon_t \sim N(0, \sigma^2)$ - випадкова величина, що підпорядковується нормальному закону розподілу, з нульовим математичним очікуванням і постійною дисперсією; σ – показник дисперсії.

Завдання полягає в тому, щоб визначити $\varphi_0, \varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p$. Їх можна оцінити різними способами. Правильніше за все шукати їх через систему рівнянь Юла-

Уолкера, для складання цієї системи потрібно виконати розрахунок значень автокореляційної функції. Можна вчинити більш простим способом - порахувати їх методом найменших квадратів.

Модель з ковзаючим середнім МА порядку q має вигляд:

$$Y_t = \mu + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \theta_2 \varepsilon_{t-2} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t, \quad (4)$$

де $\theta_1, \theta_2 \dots \theta_q$ - оцінювані параметри; μ – постійне середнє.

Комбінації цих моделей та кількість компонентів (лаг) цих систем формують групу ARIMA:

$$Y_t = \varphi_0 + \mu + \varphi_1 Y_{t-1} + \dots + \varphi_p Y_{t-p} + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} + \varepsilon_t. \quad (5)$$

ARIMA (p,d,q), де p – кількість компонентів рівняння авторегресії, q – кількість компонентів рівняння ковзаючого середнього, d – критерій диференціації, що вказує на кількість циклів, сезонів та ін.

ARIMA (1,0,0) - AR модель, ARIMA (0,0,1) - MA модель, ARIMA (1,0,1) - ARMA модель.

У роботі використано інструмент регресійного аналізу, реалізований на платформі Excel у вигляді безкоштовного модулю та платного додатку NumXL. Для реалізації алгоритму ARMA в безкоштовному модулі залежною змінною при побудові авторегресії першого порядку буде сам ряд відміток, а незалежною - він же, але зміщений на одне значення вниз. Таким чином, друге значення ряду буде визначатися регресією на перше значення, третє - регресією на друге і т. д.

Вихідними даними для створення прогностної моделі слугують результати спостереження за осіданнями контрольних марок методами високоточного геометричного нівелювання (A1 і A2) та змодельовані значення динамічного процесу осідання по контрольній марці A3 (табл.2).

Таблиця 2

Вихідні значення відміток контрольних марок

№ циклу	Відмітка, м			№ циклу	Відмітка, м		
	A1	A2	A3		A1	A2	A3
1	98,382	98,1788	98,382	11	98,361	98,1549	98,361
2	98,382	98,1774	98,382	12	98,360	98,1548	98,360
3	98,378	98,1736	98,378	13	98,359	98,1541	98,359
4	98,379	98,1727	98,379	14	98,357	98,1507	98,357
5	98,377	98,1692	98,377	15	98,356	98,1501	98,350
6	98,376	98,1679	98,376	16	98,356	98,1497	98,341
7	98,373	98,1657	98,373	17	98,355	98,1483	98,335
8	98,367	98,1585	98,367	18	98,353	98,1466	98,329
9	98,366	98,1575	98,366	19	98,349	98,1411	98,311
10	98,365	98,1565	98,365	20	98,348	98,139	98,308
11	98,361	98,1549	98,361	21	98,348	98,1381	98,305

Спочатку за значеннями відміток марки A1 за період з 1 по 16-й цикли виконано моделювання декількох різних рангів моделі ARIMA, на циклах з 17 по 21-й проведено порівняння прогностних значень відміток з фактичними. Результати моделювання в безкоштовному модулі наведено в табл. 3 та зображено на рис.1.

Таблиця 3

Відхилення змодельованих відміток марки А1 в Excel

№ ц.	факт	ARIMA(1,1,1)		ARIMA(2,1,1)		ARIMA(6,1,6)	
	H, м	H', м	δH1, мм	H', м	δH1, мм	H', м	δH1, мм
17	98,3545	98,3533	-1,2	98,3534	-1,1	98,353	-1,1
18	98,3526	98,3519	-0,7	98,3522	-0,4	98,353	0,8
19	98,3485	98,3506	2,1	98,3510	2,5	98,353	4,5
20	98,3484	98,3493	0,9	98,3499	1,5	98,351	2,9
21	98,3478	98,3481	0,3	98,3489	1,1	98,352	3,8
		СКП, мм	1,2	СКП, мм	1,5	СКП, мм	3,0

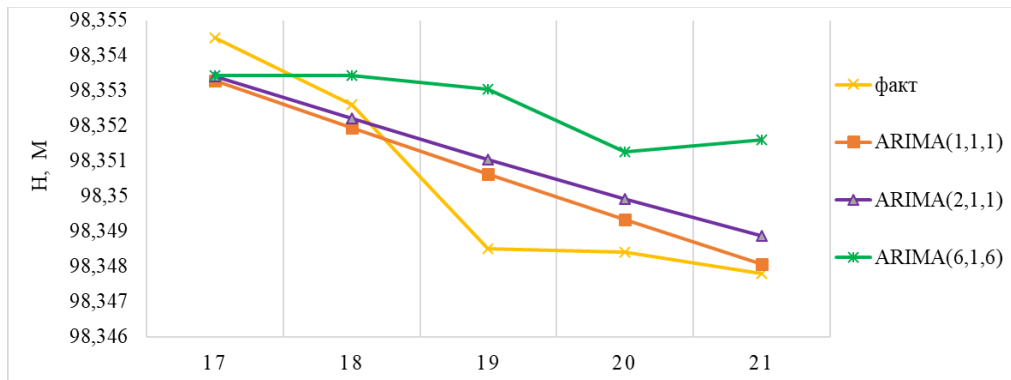


Рис.1. Прогнозовані значення відміток марки А1 в Excel

Результати моделювання в платного додатку NumXL наведено в табл. 4 та зображено на рис.2.

Таблиця 4

Відхилення змодельованих відміток марки А1 в NumXL

№ ц.	Факт	ARIMA(1,1,1)		ARIMA(1,1,2)		ARIMA(2,1,1)		ARIMA(6,1,6)	
	H, м	H', м	δH1, мм	H', м	δH1, мм	H', м	δH1, мм	H', м	δH1, мм
17	98,355	98,355	0,1	98,354	-0,6	98,354	-0,5	98,354	-0,6
18	98,353	98,353	0,7	98,352	-0,4	98,353	-0,1	98,352	-0,2
19	98,349	98,352	3,4	98,350	2,0	98,351	2,4	98,351	2,6
20	98,348	98,350	1,9	98,349	0,4	98,349	0,9	98,349	1,1
21	98,348	98,349	0,9	98,347	-0,8	98,348	-0,1	98,348	0,3
		СКП, мм	1,8	СКП, мм	1,0	СКП, мм	1,2	СКП, мм	1,3

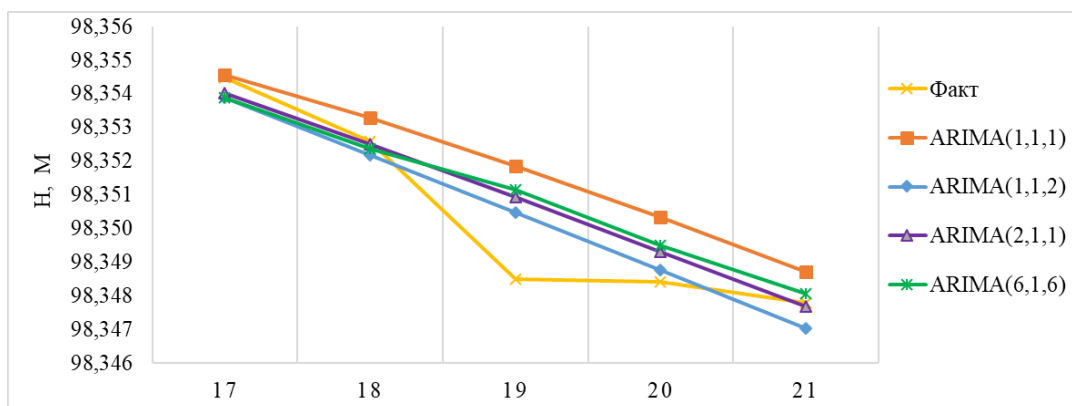


Рис.2. Прогнозовані значення відміток марки А1 в NumXL

За результатами аналізу різниць прогнозних та фактичних значень відміток точок можна дійти висновку про високу точність прогнозу на два кроки вперед, як для платного, так і для безкоштовного рішення. Загалом різниця між їх результатами виглядає не суттєвою. Також можна відмітити високу точність прогнозування на два кроки вперед для всіх рангів моделей, але зважаючи на збільшення похибок під час підвищення рангу, пропонується не використовувати моделі з рангом більше двох.

Розглянемо результати прогнозування для другої марки А2, які наведено в табл. 5 й зображено на рис.3.

Таблиця 5

Відхилення змодельованих відміток марки А2 в NumXL

№ циклу	Факт	ARIMA(1,1,1)		ARIMA(2,1,1)		ARIMA(6,1,6)	
	Н, м	Н', м	δН1, мм	Н', м	δН1, мм	Н', м	δН1, мм
17	98,148	98,149	0,4	98,148	-0,7	98,147	-0,9
18	98,147	98,147	0,8	98,146	-1,0	98,147	0,0
19	98,141	98,146	4,8	98,144	2,6	98,145	3,5
20	98,139	98,144	5,2	98,142	2,7	98,142	3,2
21	98,138	98,142	4,3	98,140	1,7	98,142	3,5
		скп, мм	3,7	скп, мм	1,9	скп, мм	2,7

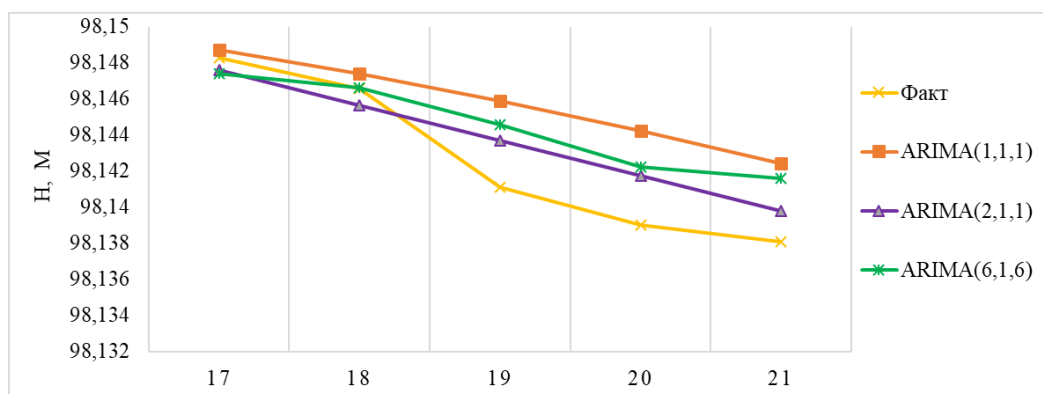


Рис.3. Прогнозовані значення відміток марки А2 в NumXL

За результатами моделювання видно перевагу моделі ARIMA (2,1,1).

Розглянемо варіант змодельованих даних відміток контрольної марки А3 (табл. 6), в якому з 15-го циклу спостережень відбувається динамічний процес осідання (рис. 4).

Таблиця 6

Відхилення змодельованих відміток марки А3 в NumXL

№ циклу	Факт	ARIMA(1,1,1)		ARIMA(2,1,1)		ARIMA(6,1,6)	
	Н, м	Н', м	δН1, мм	Н', м	δН1, мм	Н', м	δН1, мм
17	98,335	98,332	-2,7	98,337	2,4	98,340	4,6
18	98,329	98,324	-5,4	98,335	5,8	98,339	9,9
19	98,311	98,315	3,9	98,332	21,1	98,337	26,0
20	98,308	98,306	-1,7	98,329	21,4	98,332	23,7
21	98,305	98,298	-7,4	98,327	21,7	98,325	20,1
		скп, мм	4,7	скп, мм	16,8	скп, мм	18,8

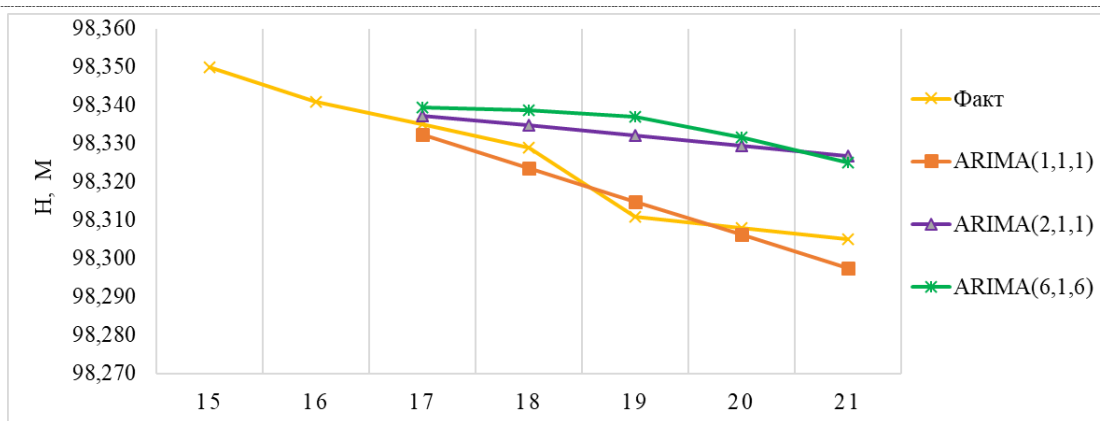


Рис.4. Прогнозовані значення відміток марки А3 в NumXL

Незважаючи на досить динамічний процес осідання контрольної марки А3, за допомогою застосування алгоритму прогнозування ARIMA (1,1,1) дає досить високу точність на першому, і непогану на другому кроці.

Отримавши певний набір моделей для рядів вимірів перейдемо до аналізу їх надійності, який дасть змогу обрати оптимальну модель для кожного набору даних. Існує велика кількість критеріїв та методів перевірки, але найчастіше використовують індекс детермінації та критерій Фішера.

Індекс детермінації - статистичний показник, що використовується в статистичних моделях як міра залежності варіації залежної змінної від варіації незалежних змінних.

Він характеризує наскільки отримані спостереження підтверджують модель, та розраховується за наступною формулою:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(y_t - y_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}, \quad (6)$$

де n - число спостережень; y_i - значення прогнозованої змінної; \bar{y} - середнє значення пояснюється змінної; y_t - модельні значення, побудовані по оціненим параметрам.

R^2 приймає значення від 0 до 1 і показує частку поясненої дисперсії. Чим ближче R^2 до 1, тим краще модель, тим менше частка непоясненої дисперсії.

Для більш адекватної оцінки моделі використовується скоригований індекс детермінації ($Adj R^2$). Як видно з назви, цей показник є скоригованою версією R^2 , в якій враховані «штрафи» за збільшення рангу моделі:

$$Adj R^2 = 1 - (1 - R^2) \frac{n-1}{n-m}, \quad (7)$$

де n – кількість елементів вибірки для прогнозу; m – кількість зв'язаних елементів вибірки, або кількість елементів рівняння регресії.

Для перевірки значимості рівняння регресії обчислюють значення критерію Фішера та порівнюють з табличним при заданій величині ймовірності (зазвичай 0,95). Якщо розрахований критерій Фішера вище, ніж табличний, то пояснена дисперсія істотно більше, ніж не пояснена, і модель є значущою.

$$F = \frac{R^2}{1-R^2} \frac{f_2}{f_1}, \quad (8)$$

де R^2 – індекс детермінації; $f_1 = m$ – кількість ступенів свободи поясненої дисперсії; $f_2 = (n - m - 1)$ – кількість ступенів свободи непоясненої дисперсії.

Результати визначення показників якості побудованих моделей прогнозування відміток контрольних марок зведено до порівняльної табл.7.

Таблиця 7

Аналіз якості створених прогнозних моделей

Тип моделі	Параметри	Варіанти моделювання			
		Exel A1	NumXLA1	NumXL A2	NumXL A3
ARIMA(1,1,1)	R^2	0,991	0,981	0,918	0,870
	Adj R^2	0,991	0,981	0,918	0,870
	$F_{\text{мод}}$	401,2	177,0	39,0	23,5
	$F_{\text{табл}}$	4,7	4,7	4,7	4,7
ARIMA(2,1,1)	R^2	0,987	0,992	0,957	-0,672
	Adj R^2	0,986	0,991	0,953	-0,801
	$F_{\text{мод}}$	173,5	280,0	51,6	-0,9
	$F_{\text{табл}}$	4,0	4,0	4,0	4,0
ARIMA(6,1,6)	R^2	0,947	0,990	0,957	-1,079
	Adj R^2	0,917	0,984	0,933	-2,235
	$F_{\text{мод}}$	59,1	321,5	73,7	-1,7
	$F_{\text{табл}}$	8,9	8,9	8,9	8,9

Розраховані значення показників якості створених прогнозних моделей добре корелюють із значеннями різниць прогнозованих та фактичних відміток контрольних точок по відповідним рангам моделі. Отже можна стверджувати про можливість використання індексу детермінації та критерію Фішера як показників якості під час вибору з різних варіантів моделей та взагалі можливості застосування моделі до ряду вимірів.

Висновки. За результатами порівняння результатів роботи алгоритмів прогнозування значень відміток контрольних точок в безкоштовному та платному програмному забезпеченні встановлено незначну відмінність між ними. На основі аналізу впливу рангу моделі ARIMA на точність прогнозування ряду вимірів отримано висновки про відсутність суттєвого підвищення якості прогнозної моделі з підвищенням її рангу більше двох. Керуючись результатами проведеного аналізу можливості використання алгоритму ARIMA, за наявності динамічного процесу осідання споруди, підтверджено можливість точного прогнозування на один крок вперед. Розглянуті в роботі індекс детермінації та критерій Фішера доцільно використовувати як показники якості під час вибору оптимальної моделі для ряду вимірів та загальної оцінки її можливості використання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Баран П.І. Ефективні методи апроксимації та прогнозування осідань інженерних споруд / П.І. Баран // ISTCGCAP. – 2018. – № 87. – С. 5-15. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2018.01.005>
2. Видуев Н.Г. Расчет необходимой точности наблюдений за осадками инженерных сооружений / Н.Г. Видуев, В.С. Староверов // Инженерная геодезия. – 1972. – № 12. – С. 3–12.

3. Зиборов В.В. О моделировании осадочного процесса дробно-рациональной функцией / В.В. Зиборов // Інженерна геодезія. – 2004. – №50. – С. 72-75.
4. Моргун А.С. Прогнозування за методом граничних елементів осідання 17-поверхової споруди / А.С. Моргун, О.В. Крайсвітня // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2014. – № 5. – С. 53-56. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi_2014_5_9.
5. Гуляев Ю.П. О прогнозировании деформации сооружений по геологическим данным / Ю.П. Гуляев // Геодезия и картография. – 1983. – № 12. – С. 17–21.
6. Гуляев Ю.П. Рекомендации по прогнозированию деформаций сооружений гидроузлов на основе результатов геодезических наблюдений / под науч. ред. Ю. П. Гуляева. – Л.: ВНИИГ, 1991. – 60 с.
7. Гуляев Ю.П. О точности математического описания процесса деформации основания фундамента / Ю.П. Гуляев // Геодезия и картография. – 1975. – № 10. – С. 27–33.
8. Гуляев Ю.П. Математическое моделирование. Анализ и прогнозирование деформаций сооружений по геодезическим данным на основе кинематической модели: учеб. пособие. / Ю.П. Гуляев, В.С. Хорошилов. – Новосибирск: СГГА, 2012. – 93 с.
9. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений: монография. / Ю.П. Гуляев – Новосибирск: СГГА, 2008. – 256 с.
10. Cranenbroeck van J. State of the art in structural geodetic monitoring solutions for hydro power plant / J. van Cranenbroeck // FIG Working Week 2011, Bridging the Gap between Cultures, Marrakech, Morocco, 18-22 May. — 2011. — No. FIG Working Week 2011— P. 18–22.
11. Жуков Б.Н. Руководство по геодезическому контролю сооружений и оборудования промышленных предприятий при их эксплуатации / Б.Н. Жуков. – Новосибирск: СГГА, 2004 – 376 с.

REFERENCES

1. Baran, P.I. (2018). Efektyvni metody aproksymatsiyi ta prohnozuvannya osidan' inzhenernykh sporud [Effective Approximation and Prediction Methods for Engineering Settlements]. *ISTCGCAP*, 87, 5-15 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2018.01.005>
2. Viduev, N.G., & Staroverov, V.S. (1972). Raschet neobkhodimoy tochnosti nablyudeniy za osadkami inzhenernykh sooruzheniy [Calculation of the necessary accuracy of observations of precipitation of engineering structures]. *Inzhenernaya geodeziya – Engineering geodesy*, 12, 3–12 [in Russian].
3. Ziborov, V.V. (2004). O modelirovanii osadochnogo protsessa drobnoratsional'noy funktsiyey [About modeling of sedimentary process by fractional rational function]. *Inzhenerna heodeziya – Engineering Geodesy*, 50, 72-75 [in Russian].
4. Morgun, A.S. & Kraysvitnya, O.V. (2014). Prohnozuvannya za metodom hranychnykh elementiv osidannya 17-poverkhovoyi sporudy [Forecasting by the

method of boundary elements of sedimentation of a 17-storeyed building]. *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu – Bulletin of the Vinnitsa Polytechnic Institute*, 5, 53-56. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vvpi_2014_5_9 [in Ukrainian].

5. Gulyaev, Y.P. (1983). O prognozirovaniy deformatsii sooruzheniy po geologicheskim dannym [On predicting the deformation of structures according to geological data]. *Geodeziya i kartografiya – Geodesy and cartography*, 12, 17-21 [in Russian].

6. Gulyaev, Y.P. (1991). *Rekomendatsii po prognozirovaniyu deformatsiy sooruzheniy gidrouzlov na osnove rezul'tatov geodezicheskikh nablyudeniy [Recommendations for predicting the deformation of hydraulic structures based on the results of geodetic observations]*. - Leningrad: VNIIG [in Russian].

7. Gulyaev, Y.P. (1975). O tochnosti matematicheskogo opisaniya protsessa deformatsii osnovaniya fundamenta [About the accuracy of the mathematical description of the process of deformation of the foundation foundation]. *Geodeziya i kartografiya – Geodesy and Cartography*, 10, 27–33 [in Russian].

8. Gulyaev, Y.P. & Khoroshilov, V.S. (2012). *Matematicheskoye modelirovaniye. Analiz i prognozirovaniye deformatsiy sooruzheniy po geodezicheskim dannym na osnove kinematicheskoy modeli [Math modeling. Analysis and prediction of deformation of structures according to geodetic data based on the kinematic model]*. Novosibirsk: SSGA [in Russian].

9. Gulyaev, Y.P. (2008). *Prognozirovaniye deformatsii sooruzheniy na osnove rezul'tatov geodezicheskikh nablyudeniy: monografiya [Forecasting the deformation of structures based on the results of geodetic observations: a monograph]*. Novosibirsk: SSGA [in Russian].

10. Van Cranenbroeck, J. (2011). State of the Art in Structural Geodetic Monitoring Solutions for Hydro Power Plant. *FIG Working Week 2011, Bridging the Gap between Cultures, Marrakech, Morocco, 18-22 May, (FIG Working Week 2011)*, 18–22. [in English]

11. Zhukov, B.N. (2004). *Rukovodstvo po geodezicheskomu kontrolyu sooruzheniy i oborudovaniya promyshlennykh predpriyatiy pri ikh yekspluatatsii [Guidance on the geodetic control of structures and equipment of industrial enterprises during their operation]* Novosibirsk: SSGA [in Russian].

Ю.В. Медведский

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОРЕГРЕССИИ В ЗАДАЧЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗА ОСАДКАМИ СООРУЖЕНИЙ

В работе рассмотрен подход к решению задачи прогнозирования значений осадок сооружений на основании малой выборки наблюдений. Выполнен анализ существующих математических алгоритмов прогнозирования рядов измерений на основе применения авторегрессионных функций типа ARIMA. Выполнен анализ влияния ранга модели ARIMA на точность прогнозирования ряда измерений. Проведен анализ возможности использования алгоритма ARIMA при наличии динамического процесса оседания сооружения. Установлено, что предложенная модель прогнозирования значений осадок на основании ARIMA имеет высокий

уровень прогнозирования по малой выборке данных и позволяет проводить математически обоснованные работы по планированию циклов наблюдений за процессом осадки сооружений.

Ключевые слова: *автокорреляционная функция, ARIMA, осадка сооружений, геодезический мониторинг, методы прогнозирования.*

Y.V. Medvedskiy

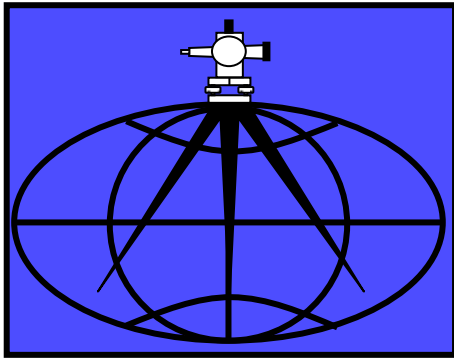
USE OF AUTOREGRESSION IN THE PROBLEM OF OBSERVATION OF SEDIMENTS OF STRUCTURES

The paper considers an approach to solving the problem of predicting the values of building sediments based on a small sample of observations. The analysis of existing mathematical algorithms for predicting series of measurements based on the use of autoregressive functions of the ARIMA type is performed. A comparison is made of the results of the work of forecasting algorithms for point mark values in free and paid software, by which an insignificant difference between them is determined. An analysis is made of the influence of the rank of the ARIMA model on the accuracy of forecasting a number of measurements, which allowed us to draw conclusions about the absence of a significant increase in the quality of the forecast model with an increase in its rank by more than two. The analysis of the possibility of using the ARIMA algorithm in the presence of a dynamic process of subsidence of the structure, confirmed the possibility of predicting one and two steps forward. It has been established that the proposed model for predicting precipitation values based on the autoregressive function with a moving average has a high level of forecasting for a small sample of data and allows mathematically justified work to plan observation cycles for the settlement process of structures.

Keywords: *autocorrelation function, ARIMA, settlement of structures, geodetic monitoring, forecasting methods.*

Надійшла до редакції

17.04.2019



КАДАСТР І МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ

УДК 711.4-112

<https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.66.85-94>

В. А. Смілка, канд. техн. наук
 Департамент містобудування та архітектури КМДА, м. Київ

ВЗАЄМОДІЯ КАДАСТРОВИХ ТА МОНІТОРИНГОВИХ СИСТЕМ НА МІСЦЕВОМУ РІВНІ УПРАВЛІННЯ

У роботі висвітлено структурний аналіз понять “кадастр” і “моніторинг”, виявлено системні взаємозв’язки між земельним та містобудівним кадастрами, моніторингом довкілля, земель і містобудівним моніторингом. Розглянуто питання взаємодії інформаційних систем на місцевому рівні державного управління для забезпечення сталого розвитку населених пунктів шляхом ухвалення ефективних рішень на підставі різногалузевих даних. Дослідження спирається на рекомендації ООН щодо розроблення функціоналу моніторингу та оцінювання в системі міського планування на постійній основі.

Ключові слова: кадастр, моніторинг, система, аналіз, управління.

Вступ. Забезпечення сталого розвитку міст й екологічної безпеки територій в Україні законодавчо належить до пріоритетних цілей і завдань органів державної влади й органів місцевого самоврядування, які регулюють містобудівну, землевпорядну, топографо-геодезичну, природоохоронну, кадастрову та моніторингову діяльність. У сфері міського територіального управління кадастрові і моніторингові системи виконують обліково-реєстраційні функції й утворюють первинні інформаційні ресурси про стан і правовий статус міських територій для виконання аналітичних досліджень, сприяння ухваленню планувальних й управлінських рішень.

Згідно з нормативно-правовими документами у сфері землевпорядкування і містобудування в Україні створюють окремі системи кадастру й моніторингу. Кадастрові системи відіграють переважну роль в кожній зі сфер державного регулювання, а моніторингові системи доповнюють рівень кадастрових систем реалізацією аналітичних функцій різнорідних даних. Для ухвалення обґрунтованих управлінських рішень потрібно одночасно використовувати інформацію з різних галузевих інформаційних систем.

Аналіз попередніх досліджень. Протягом останнього десятиріччя вітчизняні та зарубіжні науковці досліджували питання розвитку і самостійного функціонування кадастрових і моніторингових систем. Стаття ґрунтується на

опублікованих теоретичних наукових працях стосовно управління земельними ресурсами [1; 2], інформаційного забезпечення містобудівної діяльності [3; 4], організації спостережень за об'єктами в населених пунктах [5; 6] та моніторингу довкілля [7].

Проблематика розроблення комплексного моніторингу, у якому поєднано знання про екологію, землевпорядкування та містобудування, досі досліджувалась в аспекті інституційного забезпечення, а питання інтеграційної взаємодії різногалузевих інформаційних систем не розглядалися.

Мета статті. Необхідно виконати структурний аналіз понять «кадастр» та «моніторинг», виявити системні зв'язки між кадастровими і моніторинговими системами, запропонувати способи їх взаємодії. У дослідженні розглянуто місцевий рівень планування території, на якому опрацьовується інформація про первинні елементи системи, відбуваються натурні спостереження за об'єктами містобудування.

Виклад основного матеріалу. Структурний аналіз дає можливість відокремити головне від другорядного, розділити сутність на структурні компоненти. Структурний аналіз понять виконують за змістовими категоріями: родовий компонент, субстанціональні і функціональні ознаки, об'єкт і результат дослідження. Критеріями аналізу є такі: 1) «родовий макрокомпонент» – вид материнської форми; 2) «первинна субстанція» – основні складові елементи; 3) «складові процеси» – сукупність послідовних дій, спрямованих на досягнення певного результату; 4) «об'єкт дослідження» – простір, у межах якого виконують дослідження; 5) «результат дослідження» – кінцевий наслідок послідовних дій.

Результати структурного аналізу понять «земельний кадастр», «моніторинг земель», «містобудівний кадастр», «містобудівний моніторинг» та «моніторинг довкілля» наведено в табл. 1.

Системи земельного кадастру і моніторингу за змістовою сутністю утворюють єдину галузеву систему обліку земель. Наявність кадастрової системи окремо від моніторингової є можливою, тоді як моніторингової окремо від кадастрової не може бути.

Моніторинг довкілля – це самостійна, на відміну від моніторингу земель та містобудівного моніторингу інформаційна система, що є якісним доповненням галузевих кадастрових систем. Одноосібність системи зумовлює потребу у створенні розвиненої інфраструктури збирання та збереження даних, властивих кадастровим системам.

Виконаний аналіз свідчить про схожість змістових категорій понять «містобудівний кадастр» та «містобудівний моніторинг». Родовим компонентом для обох понять є система, відмінність становлять лише ознаки; у першому випадку це статус або рівень, а в другому ознака визначає функцію системи. Первинною субстанцією і в першому, і в другому понятті є просторові дані про територію. Щодо містобудівного кадастру, то це суцільна територія в межах адміністративно-територіальної одиниці, а для містобудівного моніторингу – лише в межах розроблення містобудівної документації. В ідеальній ситуації простір, який охоплюється системами, є ідентичним, але фактично містобудівна документація може бути розроблена не на всю територію населеного пункту. Процеси, що відбуваються в системі, є різними, оскільки задачі систем різняться між собою. В той

же час результати діяльності систем є тотожними: перший задовольняє інформаційні потреби для планування та забудови території, а другий передбачає сталий розвиток підзвітної території, тобто планування та забудову території відповідно до містобудівної документації. Таким чином, можна дійти висновку, що системи містобудівного кадастру та моніторингу є спорідненими, ґрунтуються на одних і тих самих даних, кінцева мета діяльності систем одна – сталий розвиток території.

Таблиця 1

Структурний аналіз понять

Поняття	Структура і склад понять				
	Родовий компонент	Первинна субстанція	Складові процеси	Об'єкт	Результат
земельний кадастр	система	землі	зонування, знімання, бонітування, оцінка, реєстрація	земельна ділянка	виникнення (припинення) права
містобудівний кадастр	система	територія	збір, зберігання, використання даних	геопросторові дані	задоволення інформаційних потреб для планування територій
моніторинг довкілля	система	природне середовище	спостереження, оцінка, прогнозування	довкілля, його елементи	виявлення негативних змін і вироблення рекомендацій з їх усунення або ослаблення
моніторинг земель	система спостережень	землі	знімання, обстеження, оцінка, прогнозування	земельна ділянка	виявлення та ліквідація негативних процесів
містобудівний моніторинг	система спостережень	містобудівна документація	аналіз, оцінка, прогнозування	об'єкт містобудування	сталий розвиток територій

Система містобудівного кадастру може функціонувати окремо від системи моніторингу, накопичувати геопросторові дані, задовольняти потреби в інформації. Однак в такій формі, як «склад» інформації, містобудівний кадастр видається «нецікавим» для містобудування, оскільки витрати на створення системи є колосальними, а ефект від використання як накопичувача інформації – незначним.

Позитивним у такому разі є лише переведення аналогових матеріалів містобудівної діяльності та топографічної основи у цифровий вигляд.

Накопичення й використання інформації в містобудівному кадастрі полягає в тому, що це не традиційне сховище даних, хай навіть оснащене автоматизованою системою пошуку матеріалів і документів, а механізм, здатний оперативно підготувати потрібний документ, узагальнюючи або, навпаки, розділяючи наявні інформаційні ресурси відповідно до запиту. А підготувати заздалегідь формалізовані відповіді на всі можливі питання органів державної влади, органів місцевого самоврядування, фізичних і юридичних осіб, пов'язаних з означеною метою містобудівного кадастру, неможливо, оскільки містобудівна ситуація змінюється щодня.

Сутність містобудівного моніторингу полягає в можливості отримати узагальнені відомості з окремих тем на все місто, на планувальний район, мікрорайон або відомості про конкретні об'єкти. Містобудівний моніторинг як містобудівна система пов'язаний з автоматизацією процесів, моделюванням і прогнозуванням містобудівної ситуації на основі актуальної і ретроспективної інформації про властивості та характеристики об'єктів містобудування. Виконання зазначених дій є неможливим без наявності структурованої інформації баз даних містобудівного кадастру. Таким чином, робота системи містобудівного моніторингу є неможливою без містобудівного кадастру. Що більше циклів оновлення інформації в містобудівному кадастрі відбулось, то більше моделей і прогнозних розрахунків можна виконати в аналітичній системі [8].

Моніторинг в середовищі населених пунктів – це інструмент, за допомогою якого опрацьовують, аналізують інформацію, досліджують зміни об'єктів містобудування, моделюють перспективну ситуацію й оцінюють містобудівні рішення. Можливість моделювання ситуації для містобудівної діяльності є вкрай важливою. Містобудівний моніторинг можна вважати розвитком системи містобудівного кадастру і вершиною інформатизації містобудівної галузі. Однак містобудівні інформаційні системи мають дефіцит інформаційних ресурсів земельного кадастру та моніторингу, а також даних про екологічний стан території та джерела забруднення навколишнього середовища. Незважаючи на нормативне зобов'язання органів регулювання земельних ресурсів надавати інформаційні послуги для містобудівних потреб, на практиці в цифровому вигляді така взаємодія практично не відбувається. Для забезпечення сталого розвитку територій під час ухвалення управлінських рішень потрібно комплексно в онлайн-режимі отримувати різнопрофільні аналітичні дані, а саме екологічні, землеоблікові, землеоцінні, містобудівні. Тому моніторинг довкілля, моніторинг земель і містобудівний моніторинг слід розглядати як підсистеми єдиної системи. Склад процесів галузевих моніторингових систем є ідентичним (рис. 1), на місцевому рівні державного управління вони забезпечують спостереження за одними й тими самими або просторово близькими об'єктами.



Рис. 1. Процеси галузевих моніторингів

Систему державного управління в Україні сформовано регламентованими зв'язками між органами законодавчої, виконавчої влади і правосуддя. Головним органом виконавчої влади є Кабінет Міністрів України, який здійснює загальнодержавне управління. Виконавчу владу в областях і районах здійснюють місцеві державні адміністрації. Одночасно в Україні діє інституція місцевого самоврядування, представлена сільськими, селищними, міськими радами та їх виконавчими органами. Отже, формується чітка трирівнева система державного управління.

Організаційні системи державного управління та різногалузевої моніторингової діяльності в Україні мають трирівневі ієрархічні структури. На кожному рівні системи державного управління ухвалюються нормативно-методичні документи, спрямовані на забезпечення моніторингової діяльності.

На національному рівні системи управління ухвалюються фундаментальні положення про галузеві моніторинги шляхом затвердження законодавчих та нормативних актів. Зокрема, законодавством України визначено порядок ведення, суб'єкти й об'єкти галузевих моніторингів, повноваження відповідних органів, основні контрольні показники.

На регіональному рівні системи управління затверджуються відомчі програми розвитку, відображають специфіку та потреби конкретних регіонів, визначають переліки заходів, спрямованих на поліпшення соціально-економічного становища, інвестиційної привабливості регіонів. Моніторингова діяльність є невід'ємною частиною оцінювання рівня виконання відомчих програм розвитку регіонів, методична основа якої залежить від специфіки регіону.

Місцевий (районний) рівень системи управління забезпечує ухвалення стратегій розвитку населених пунктів, організацію процесів збирання, оброблення, контролю первинних показників об'єктів моніторингу та оцінювання наслідків впливу діяльності людини на навколишнє середовище, а також ухвалення оперативних рішень для усунення наслідків надзвичайних та небезпечних ситуацій.

Нормативно-методичне забезпечення галузевих моніторингів (табл. 2) формує базову основу комплексного багатofакторного містобудівного моніторингу земель населених пунктів.

Таблиця 2

Нормативне забезпечення галузевих моніторингів в Україні

Ієрархічні рівні	Містобудівний моніторинг	Моніторинг земель	Моніторинг довкілля
Національний рівень	Порядок ведення містобудівного моніторингу, Концепція сталого розвитку населених пунктів Стратегія сталого розвитку	Положення про моніторинг земель. Національна програма охорони земель	Положення про державну систему довкілля моніторингу довкілля, Програма моніторингу довкілля загальнодержавного рівня
Регіональний рівень	Програма соціального та економічного розвитку областей, Стратегія регіонального розвитку	Програма використання й охорони земель областей	Програма моніторингу довкілля областей
Місцевий рівень	Програма соціального та економічного розвитку міст, Програма стратегічного розвитку населених пунктів	Програма використання й охорони земель районів, міст	Програма моніторингу довкілля районів, міст

Пропонується вдосконалити системи моніторингової діяльності на місцевому рівні шляхом організації єдиних аналітичних центрів виконання моніторингових досліджень у межах підзвітних населених пунктів з метою комплексного аналізу інформації та розроблення комплексних рекомендацій і прогностичних пропозицій для ухвалення управлінських рішень щодо територіального розвитку населених пунктів. Схематично пропозиції з інформаційного вдосконалення моніторингових системи наведено на рис 2.



Рис. 2. Структурні пропозиції з вдосконалення моніторингових систем

Об'єктами містобудівного моніторингу земель населених пунктів є сукупність об'єктів земельного кадастру, містобудівного кадастру та навколишнього середовища, зокрема населених пунктів.

Для організації моніторингової діяльності та вибору відповідних показників вагоме значення має вибір національної моделі розвитку населених пунктів. У 1999 році Верховна Рада України схвалила Концепцію сталого розвитку населених пунктів як базову основу державної політики щодо забезпечення розвитку населених пунктів, правових й економічних шляхів її реалізації. Сталий розвиток населених пунктів – це соціально, економічно й екологічно збалансований розвиток міських і сільських поселень, спрямований на створення їх економічного потенціалу, повноцінного життєвого середовища для сучасного та наступних поколінь на основі раціонального використання ресурсів (природних, трудових, виробничих, науково-технічних, інтелектуальних тощо), технологічного переоснащення і реструктуризації підприємств, удосконалення соціальної, виробничої, транспортної, комунікаційно-інформаційної, інженерної, екологічної інфраструктури, поліпшення умов проживання, відпочинку й оздоровлення, збереження й збагачення біологічного різноманіття та культурної спадщини.

Висновки. В межах програми ООН з розвитку населених пунктів у 2009 році опубліковано доповідь «Планування сталого розвитку міст: глобальна доповідь про населені пункти», якою визнано, що моніторинг й оцінювання повинні бути частиною системи міського планування як постійна функція [9]. Функціонування такої моніторингової системи без різногалузевої кадастрової й аналітичної інформації є неможливим.

Моніторингова діяльність здійснюється завдяки аналізу потоків інформації. Інформаційне забезпечення комплексної системи містобудівного моніторингу земель населених пунктів становлять зовнішні і внутрішні джерела. До зовнішніх джерел належать кадастрові та інші інформаційні системи, до внутрішніх – підсистеми збору інформації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Петраковська О. С.* Методологія управління системою землекористування великих міст : Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец. 05.24.04 – «Кадастр і моніторинг земель» ; КНУБА. – Київ, 2007. – 27 с.
2. *Третяк А. М.* Теоретичні основи землеустрою / А. М. Третяк. – Київ: ІЗУ УААН, 2002. – 152 с.
3. *Дьомін М. М.* Містобудівні інформаційні системи. Містобудівний кадастр. Первинні елементи структури об'єктів містобудування та територіального планування / М. М. Дьомін, О. І. Сингаївська. – Київ : Фенікс, 2015. – 216 с.
4. *Лященко А. А.* Інфраструктурний підхід до створення сучасної системи містобудівного кадастру / А. А. Лященко, Ю. В. Кравченко, Д. В. Горковчук // Вісник геодезії та картографії. – 2014. – № 6 (93). – С. 21 – 27.
5. *Пиркова О. В.* Організаційно-методичний механізм формування та використання містобудівного моніторингу земель міст: характеристика й технології реалізації. / О. В. Пиркова // Комуніальне господарство міст.– 2015. – № 124. – С. 91-96. – Серія «Технічні науки та архітектури».

6. Губина М. В. Основы градостроительного менеджмента и мониторинга: учебное пособие / М. В. Губина – Київ: ВИРА-Р, 2002. – 248 с.

7. Бахарев В. С. Недосконалість існуючої системи екологічного моніторингу атмосферного повітря на рівні урбосистеми: причини, наслідки, шляхи вдосконалення. / В.С. Бахарев // Вісник Кременчуцького нац. ун-ту імені Михайла Остроградського. – 2016. – Вип. 5 (100). – С. 76–81.

8. Звіт про науково-дослідну роботу проведення досліджень для розроблення концепції системи містобудівного кадастру міста Києва. – Київ: НДІГК. – 2013 – 175 с.

9. Планирование устойчивых городов: направления стратегии. Глобальный доклад о населенных пунктах 2009. – ООН-Хабитат, Лондон-Стелинг, Виржиния, 2009. – 136 с.

REFERENCES

1. Petrakovskaya O.S. (2007). Metodolohiya upravlinnya systemoyu zemlekorystuvannya velykykh mist [Methodology of management of the land use system of major cities]. *Extended abstract of Doctor's thesis*. Kyiv: KNUBA [in Ukrainian].

2. Tretyak A. M. (2002). *Teoretychni osnovy zemleustroyu* [Theoretical Foundations of Land Management]. Kyiv: IUU UAAS [in Ukrainian].

3. D'omin M. M. & Synhayivs'ka O. I. (2015). *Mistobudivni informatsiyni systemy. Mistobudivnyy kadastr. Pervynni elementy struktury obyektiv mistobuduvannya ta terytorial'noho planuvannya* [Town-planning information systems. Town-planning cadastre. Primary elements of the structure of objects of urban planning and territorial planning]. Kyiv: Feniks, 216 p. [in Ukrainian].

4. Lyaschenko A. A. & Kravchenko Yu. V. & Gorkovchuk D. V. (2014). *Infrastrukturnyy pidkhid do stvorennya suchasnoyi systemy mistobudivnoho kadastru* [Infrastructure Approach to the Development of a Modern System of Urban Cadastre]. *Visnyk heodeziyi ta kartohrafiyi – Herald of Geodesy and Cartography*. vol. 6 (93), pp. 145 – 152 [in Ukrainian].

5. Pyrkova, O. V. (2016). Orhanizatsiyno-metodychnyy mekhanizm formuvannya ta vykorystannya mistobudivnoho monitorynhu zemel mist: kharakterystyka y tekhnolohiyi realizatsiyi [Organizational and methodical mechanism of formation of urban planning monitoring of land use]. *Komunal'ne hospodarstvo mist. Seriya : Tekhnichni nauky ta arkhitektury - Municipal economy of cities*. vol 18, no 2, pp. 91-96 [in Ukrainian].

6. Gubina M.V. (2002). *Osnovy gradostroitel'nogo menedzhmenta i monitoringa* [Fundamentals of urban management and monitoring]. Kyiv: VIRA-R [in Russian].

7. Bakharev, V. (2016). Nedoskonalist isnuiochoi systemy ekolohichnoho monitorynhu atmosfernoho povitria na rivni urbosystemy: prychny, naslidky, shliakhy vdoskonalennia [The imperfection of the existing system of atmospheric air ecological monitoring at the level of urbosystem: causes, consequences, ways of improving]. *Visnyk Kremenchut'skoho nats. un-tu imeni Mykhaila Ostrohrad'skoho - Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyyi National University*, vol. 5, no. 100, pp. 76-81.

8. Zvit pro naukovo-doslidnu robotu provedennya doslidzhen dlya rozroblennya kontseptsiyi systemy mistobudivnoho kadastru mista Kyieva [Report on the research work of conducting researches for the development of the concept of the system of city cadastre of the city of Kyiv]. (2013). Kyiv: NDIGK [in Ukrainian].

9. Planirovaniye ustoychivyykh gorodov: napravleniya strategii. Global'nyy doklad o naselennykh punktakh 2009 [Planning sustainable cities: strategic directions. Global Human Settlements Report 2009]. (2009). UN-Habitat, London-Stelting, VA. [in Russian].

В. А. Смилка

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАДАСТРОВЫХ И МОНИТОРИНГОВЫХ СИСТЕМ НА МЕСТНОМ УРОВНЕ УПРАВЛЕНИЯ

Работа содержит структурный анализ понятий «кадастр» и «мониторинг», который позволил обнаружить системные взаимосвязи между земельным и градостроительным кадастрами, мониторингом окружающей среды, мониторингом земель и градостроительным мониторингом. Рассматриваются вопросы взаимодействия информационных систем на местном уровне государственного управления для обеспечения устойчивого развития населенных пунктов путем принятия эффективных решений на основе разноотраслевых данных. Исследование основывается на рекомендации ООН по разработке функционала мониторинга и оценки в системе городского планирования на постоянной основе.

Ключевые слова: кадастр, мониторинг, система, анализ, управление.

V. Smilka

INTERACTION OF CADASTRE AND MONITORING SYSTEMS AT LOCAL LEVEL OF MANAGEMENT

The paper analyzes the structural analysis of the concepts of "cadaster" and "monitoring", reveals the systemic interrelationships between land and urban cadasters, environmental monitoring, land monitoring and urban monitoring. In accordance with the regulatory documents in the field of land management and urban planning in Ukraine, separate cadastral and monitoring systems are in place. Cadastral systems play a predominant role in each of the areas of state regulation, and monitoring systems complement the cadastral systems by implementing analytical functions of heterogeneous data.

The issues of interaction of information systems on the local level of public administration are considered in order to ensure sustainable development of settlements by making effective decisions on the basis of multi-sectoral data.

Environmental monitoring, land monitoring and urban monitoring should be considered as a subsystem of a single system, since the composition of the processes of sector monitoring systems is identical and at the local level of government, they provide monitoring of the same or spatially close objects.

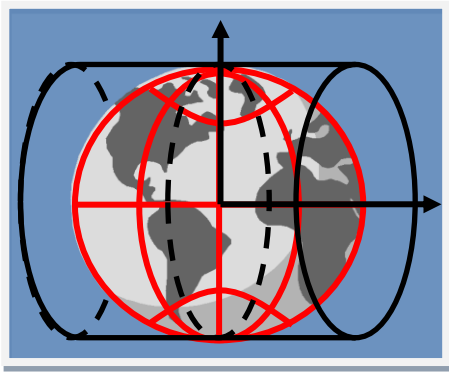
It is proposed to improve the monitoring system at the local level by organizing united analytical centers for monitoring research within the accountable settlements for the purpose of comprehensive analysis of information and the development of comprehensive recommendations and forecast proposals for making managerial decisions

on the territorial development of settlements. The study is based on the UN recommendations for the development of a monitoring and evaluation functional in the urban planning system on an ongoing basis.

Key words: *cadastre, monitoring, system, analysis, management.*

Надійшла до редакції

13.03.2019



ГЕОІНФОРМАТИКА І КАРТОГРАФІЯ

УДК 528.94, 654.165

<https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.66.95-104>

Л.В. Примак, асп. кафедри геоінформатики та фотограмметрії
Київський національний університет будівництва і архітектури

**ВИКОРИСТАННЯ ВІДКРИТИХ ДАНИХ ПРО РЕЛЬЄФ МІСЦЕВОСТІ
В ПЛАНУВАННІ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ РАДІОЧАСТОТНИХ
ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ**

У статті обґрунтовано можливості використання загальнодоступних даних про рельєф місцевості, а саме SRTM версії 3.0 та Aster GDEM версії 2 в плануванні й оптимізації радіочастотних телекомунікаційних мереж. Розраховано середньоквадратичні похибки в обчисленні емпіричної моделі Окумура-Хата для стандартних стільникових телекомунікаційних систем (UMTS) на основі топографічних даних про рельєф масштабу 1:2000, 1:50000, SRTM версії 3.0 та Aster GDEM2. Розрахунки виконано для території вибірки з довірчим інтервалом 95%±3%, визначеної шляхом районування території за значеннями нахилів місцевості.

Ключові слова: SRTM, Aster GDEM, ЦМР, радіопланування, оптимізація радіомереж.

Вступ. Наявність глобальних баз топографічних даних у відкритому доступі уможливило їх залучення до різних сфер науки, виробництва та промисловості. Не є винятком і телекомунікаційні технології.

Як відомо, основою планування й оптимізації стільникових телекомунікаційних мереж є такі геопросторові дані: цифрова модель рельєфу (ЦМР), клатер і висотний клатер [1], представлені у вигляді растрових моделей даних [2]. Формати геопросторових даних і рекомендації щодо вибору комірки даних залежно від типу території наведено в документах-довідниках з експлуатації програмного забезпечення для оптимізації радіомереж. Для прикладу: під час планування й оптимізації радіочастотних мереж в межах великих територій (країна, область, район) рекомендується розмір комірки 20-50 метрів [3].

У межах вказаного розміру комірки найвідомішими відкритими глобальними наборами даних про рельєф місцевості є SRTM версії 3.0 (НАСА, радіолокаційні топографічні дані про висоти земної поверхні) та Aster GDEM2 (МЕТІ, НАСА, стереотопографічні дані про рельєф земної поверхні на основі космічних знімків Aster).

Метою статті є дослідження точності використання відкритих даних про рельєф земної поверхні, а саме SRTM версії 3.0 та Aster GDEM2 у плануванні й оптимізації радіочастотних телекомунікаційних мереж.

Аналіз досліджень і публікацій. Для діапазонів частот стандартів 2G, 3G, 4G процес оптимізації та планування радіомереж ґрунтується на побудові емпірично-математичної залежності (моделі) поширення радіохвиль від частоти хвиль, дальності поширення та інших параметрів для прогнозування втрати потужності сигналу в межах певної території [1]. В статті зупинимося на моделі, що найчастіше використовується в Україні та на урбанізованих територіях в цілому, – моделі Хата [3], яка реалізована в програмному комплексі Atoll (Forsk). Середня втрата потужності сигналу в моделі Хата визначається формулою:

$$L = A_1 + A_2 \log f + A_3 \log h_{BS} + (B_1 + B_2 \log h_{BS} + B_3 h_{BS}) \log d - a(h_m) - C_{clutter} \quad (1)$$

де $A_1, A_2, A_3, B_1, B_2, B_3$ – емпірично визначені параметри (коефіцієнти) Хата для окремих частот радіохвиль; f – частота хвилі в МГц; h_{BS} – висота антени передавача в метрах, d – відстань між передавачем та приймачем в кілометрах; $a(h_m)$ – функція корекції розрахунку втрати потужності сигналу залежно від висоти антени приймача, $C_{clutter}$ – функція корекції розрахунку втрати потужності сигналу залежно від типу перешкоди (клатера) території.

Саме у формулі розрахунку висоти антени передавача h_{BS} та висоти антени приймача h_m бере участь рельєф місцевості через віртуальну побудову лінії видимості передавач–приймач, побудову профілю місцевості по лінії передавач–приймач [3].

Дослідження оцінки моделі з погляду точності розрахунку втрат амплітуди сигналу залежно від технічних параметрів антени, потужності сигналу та інших радіотехнічних характеристик наведено в багатьох міжнародних друкованих та інтернет-виданнях, наприклад [4-7]. Для цього використано такі значення середньої квадратичної похибки втрат амплітуди радіосигналу: 6–7 дБ для забудованих міських територій [8], 10дБ для приміських територій та 15дБ для сільської місцевості [9]. В той же час досліджень, що висвітлюють, яким чином впливає топографічна складова, зокрема точність рельєфу місцевості, на розрахунки втрат амплітуди радіосигналу, в літературі немає. На практиці через брак вихідних даних для створення точної цифрової моделі рельєфу найчастіше як ЦМР використовують дані з відкритих джерел, а саме SRTM версії 3.0 та Aster GDEM2.

Порівняльні характеристики SRTM версії 3.0 та Aster GDEM2 наведено в табл. 1 [10,11]:

Таблиця 1

Порівняльні характеристики SRTM версії 3.0 та Aster GDEM2

№ пор.	Назва характеристики	SRTM версії 3.0	Aster GDEM2
1	Рік актуальності	2000	2009
2	Роздільна здатність по широті	1''	1''
3	Роздільна здатність по довготі	1''	1''
4	Оцінка вертикальної точності	28,58	64,80
	4.1. Максимальна різниця висоти, м		

4	4.2.Мінімальна різниця висоти, м	-28,67	-137,37
	4.3.Середня різниця висоти, м	0,73	-0,20
	4.4.Стандартне відхилення, м	3,95	8,68
	4.5.Середня квадратична похибка висоти, м	4,01	8.68

Постановка задачі. Основним завданням цієї статті є обґрунтування доцільності використання відкритих даних про рельєф земної поверхні, а саме SRTM версії 3.0 та Aster GDEM2 як цифрової моделі рельєфу в плануванні й оптимізації радіочастотних телекомунікаційних мереж.

Основна частина. Територією проведення експерименту обрано місто Львів, а точніше, центральну його частину загальною площею $\sim 10 \text{ км}^2$ (рис.1).

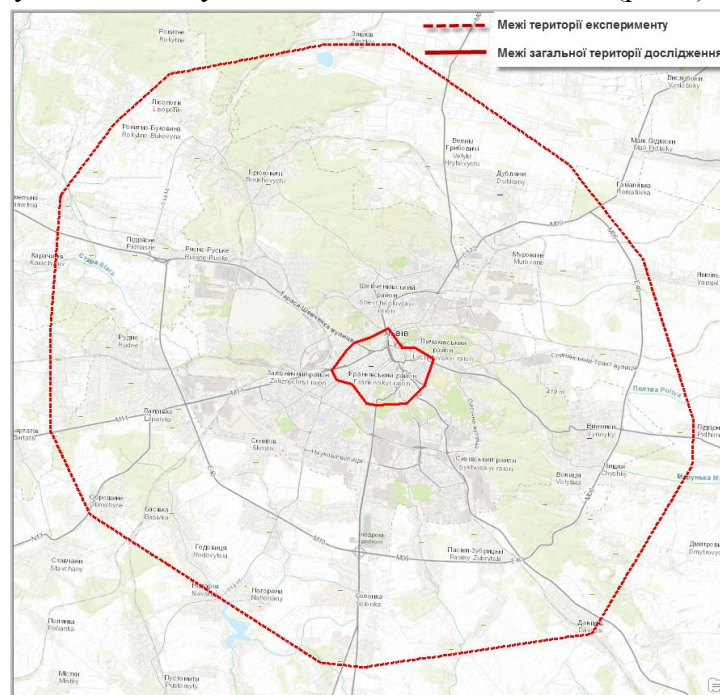


Рис.1. Межі території дослідження

Для підтвердження репрезентативності вибірки було виконане районування ЦМР (розмір комірки 20 м) а) всієї території міста та його околиць площею $\sim 500 \text{ км}^2$, тобто генеральної сукупності, та б) території вибірки за такими кутами нахилу місцевості [12]:

- рівнинний, з кутами нахилу до 2° ;
- горбистий, з кутами нахилу до 4° ;
- пересічений з кутами нахилу до 6° ;
- гірський з кутами нахилу понад 6° .

За отриманими даними підраховано кількість та процентне співвідношення комірок зі значеннями різних кутів нахилу. За математично-статистичними формулами що реалізовані в роботі [13], розраховано також значення довірчого інтервалу для довірчої ймовірності 95% (табл. 2). З даних, наведених в табл. 2 випливає, що результати досліджень на вибраній території можна використовувати для всієї території міста та навколишніх сіл з точністю $95\% \pm 3\%$.

Таблиця 2

Об'єми генеральної сукупності та вибірки території

Кут нахилу місцевості	Генеральна множина		Вибірка		Довірчий інтервал [13],%
	Кількість комірок	Процентне співвідношення	Кількість комірок	Процентне співвідношення	
<2°	379573	48%	5929	47%	±1,3
2°-3,99°	230237	29%	3820	30%	±1,6
4°-5,99°	82646	11%	1329	11%	±2,7
>=6°	92953	12%	1454	12%	±2,5
Усього	785409	-	12532	-	

У межах території експерименту розміщено 26 базових станцій, кожна з яких оснащена одним-чотирма UMTS-передавачами. В програмному комплексі Atoll розраховано UMTS-покриття мережі за різних цифрових моделей рельєфу, створених на основі:

- топографічних планів масштабу 1:2000, система висот Балтійська 1977р.;
- топографічних карт масштабу 1:50000, система висот Балтійська 1977р.;
- SRTM версії 3.0, система висот EGM-96;
- Aster GDEM2, система висот EGM-96.

Згідно з дослідженнями [14] різниця на території України між вказаними системами висот становить – 0,3м ... +0,6м, що є значно меншим за рекомендовану точність цифрової моделі рельєфу для регіональних проектів – 5м. Тому відмінності в системах висот цифрових моделей рельєфу не були взяті нами до уваги.

Результатом розрахунків в програмному комплексі Atoll є значення втрати амплітуди радіосигналу в децибелах для кожного з передавачів для кожної комірки цифрової моделі рельєфу. Наприклад, на рис. 2 показано отримані результати для одного передавача, де значення 130дБ вважається низькою втратою амплітуди радіосигналу, а значення 170дБ – високою.

Узявши за еталонні розрахунки на основі ЦМР, отриманої з топографічних планів масштабу 1:2000, засобами ArcGIS виконано обчислення середньої квадратичної похибки втрати амплітуди радіосигналу для інших цифрових моделей рельєфу. Для цього в додатку ArcGIS ModelBuilder побудовано модель, що містила такі функції обробки даних: класифікація, мозаїка, зональна статистика, калькулятор растрових зображень, статистичні функції по значеннях полів та інші. В табл. 3 зведено остаточні результати обчислень середніх квадратичних похибок.

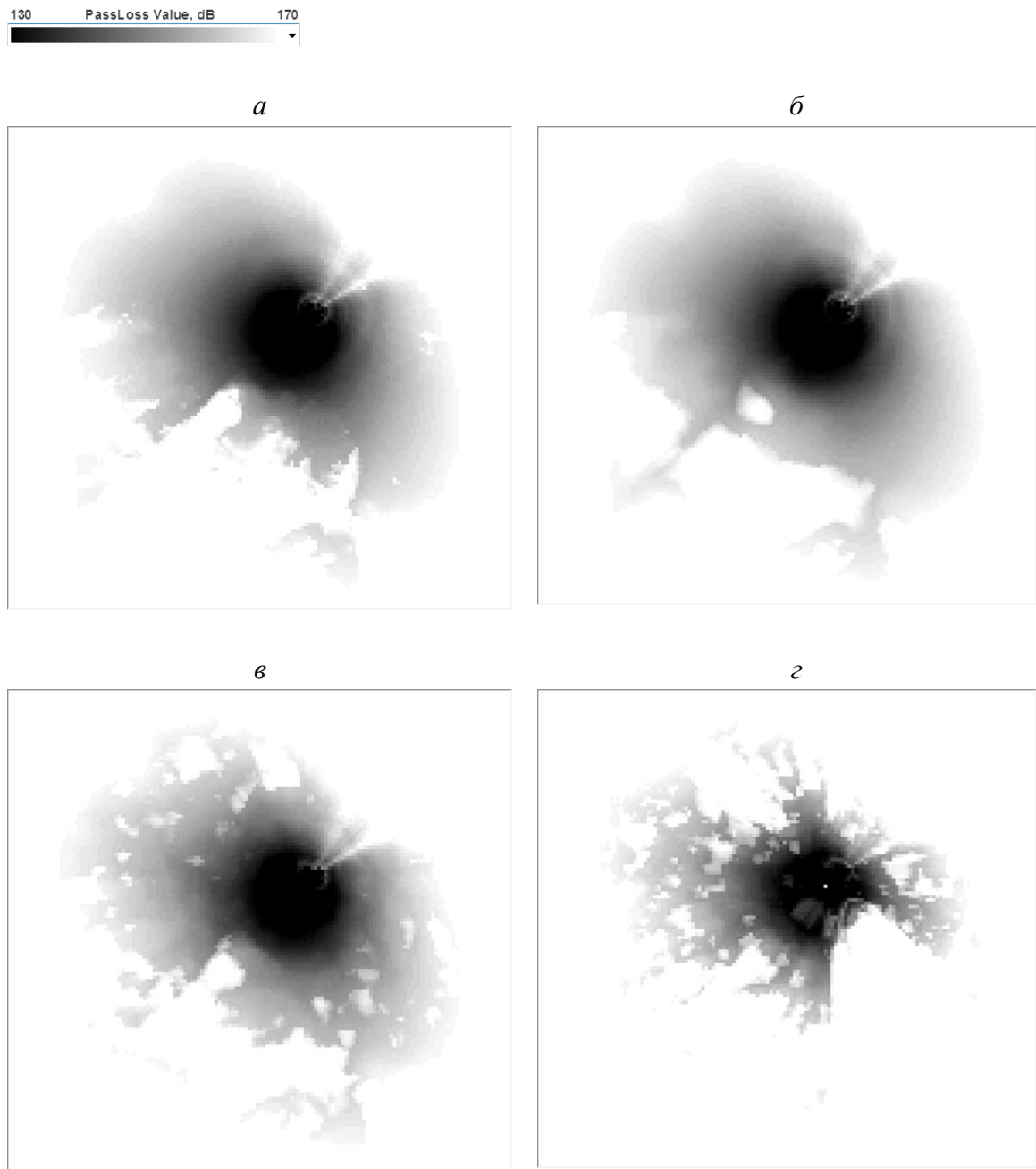


Рис. 2. Відображення втрати амплітуди радіосигналу для одного UMTS-передавача. Для розрахунку використано цифрову модель рельєфу: *a* – з топографічних планів масштабу 1:2000; *б* – з топографічних карт масштабу 1:50000; *в* – з SRTM версії 3.0; *г* – з Aster GDEM2

Таблиця 3

Значення середніх квадратичних похибок розрахунку втрати амплітуди радіосигналу

№ пор.	Номер базової станції	Номер UMTS передавача	Середня квадратична похибка, дБ		
			Рельєф масш. 50000	SRTM v.3.0	Aster GDEM2
1	1	1	5,51	6,03	10,60
2		2	6,11	6,21	11,03
3	2	1	5,74	7,50	10,05
4		2	6,13	6,11	7,41
5		3	4,82	6,88	9,62
6	3	1	8,36	7,99	11,47
7		2	8,14	8,42	11,15
8		3	5,25	8,32	10,26
9	4	1	4,19	5,49	10,16
10		2	3,46	4,53	11,55
11		3	4,64	4,17	9,49
12	5	1	5,99	5,82	8,37
13		2	3,77	7,51	13,18
14	6	1	2,83	5,10	7,51
15	7	1	4,07	5,83	14,78
16		2	3,49	4,78	11,47
17		3	7,15	5,15	14,70
18	8	1	8,78	11,49	11,22
19	9	1	5,89	6,55	10,89
20		2	3,20	8,70	12,65
21	10	1	5,06	5,24	7,81
22		2	4,07	6,09	7,76
23		3	3,59	4,88	7,28
24		4	4,67	4,48	6,77
25	11	1	5,42	7,36	11,01
26		2	3,94	7,23	10,30
27		3	4,92	4,79	6,71
28	12	1	4,55	6,38	14,41
29		2	4,13	5,98	9,46
30		3	5,46	5,21	9,25
31	13	1	5,13	6,58	9,47
32		2	3,77	5,42	8,61
33		3	4,28	5,01	8,38
34	14	1	4,84	5,43	13,14
35		2	6,43	5,82	13,67
36	15	1	5,48	5,58	11,31
37		2	5,58	6,50	13,45
38		3	3,15	6,92	11,71
39	16	1	4,05	4,29	25,03
40		2	3,82	5,39	24,97

№ пор.	Номер базової станції	Номер UMTS передавача	Середня квадратична похибка, дБ		
			Рельєф масш. 50000	SRTM v.3.0	Aster GDEM2
41	17	3	4,72	5,95	24,66
42		1	3,84	5,55	9,73
43		2	3,90	4,51	10,83
44		3	3,62	4,67	9,69
45	18	4	3,92	4,77	8,72
46		1	6,52	7,11	11,55
47		2	6,78	7,84	11,18
48	19	3	6,64	10,52	12,66
49		1	4,56	7,93	11,46
50		2	5,40	6,94	10,22
51	20	3	3,59	3,95	6,45
52		1	8,93	7,87	10,40
53		2	6,94	6,37	8,60
54	21	3	7,91	8,06	10,26
55		1	4,59	6,62	9,58
56		2	3,00	5,98	9,97
57	22	3	3,89	5,60	8,52
58		1	7,41	7,32	12,91
59		2	10,18	9,16	11,14
60	23	3	8,12	8,09	13,64
61		1	4,40	7,23	10,41
62		2	5,42	6,35	8,10
63	24	3	4,92	7,01	9,50
64		1	6,48	11,10	14,49
65		2	5,92	7,20	12,32
66	25	3	6,37	12,48	17,01
67		1	4,62	5,95	9,54
68		2	5,68	6,29	9,96
69	26	3	3,60	4,69	9,79
70		1	6,90	8,08	9,80
71		2	4,92	5,27	8,64
72	26	3	4,70	5,77	8,25
Усього		26	72	5,74	6,90

Висновки. Порівнявши отримані значення середньої квадратичної похибки втрати амплітуди радіосигналу (табл. 3) з допустимими: 6-7 дБ для забудованих міських територій [8], 10дБ для приміських території та 15дБ для сільської місцевості [9], а також враховуючи точність вибіркового розрахунку $95\% \pm 3\%$, можна вважати, що :

- використання ЦМР (розмір комірки – 20м) на основі топографічних карт масштабу 1:50000 є в межах точності планування й оптимізації телекомунікаційних систем на регіональних проектах;
- SRTM-версії 3.0 доцільно використовувати для планування й оптимізації телекомунікаційних систем в межах приміських, сільських та відкритих територій;
- Aster GDEM2 доцільно використовувати для планування й оптимізації телекомунікаційних систем у межах сільських та відкритих територій.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Примак Л.* Основні вимоги до складу топографічного забезпечення для радіочастотного планування телекомунікаційних систем. / Л.В. Примак / Науково-технічний збірник «Інженерна геодезія». – 2018. - №65. – С.158-168.
2. *Карпінський Ю.О.* Трансформування растрових моделей цифрових карт і планів. / Ю.О Карпінський, О.Г. Грачов //Вісник геодезії та картографії.- 2001. - №3. - С. 65-73.
3. *Atoll 3.2.1 Model Calibration Guide, Release AT321_MCG_E2 (May 2014).*- Forsk. - 2014. – 94 p.
4. *Nasir Faruk, Adeseke A. Ayeni, Yunusa A., Adediran Egli.* On the study of empirical path loss models for accurate prediction of tv signal for secondary users. - Progress In Electromagnetics Research.- 2013 - Vol. 49, P.155-176.
5. *Ákos Milánkovich, Károly Lendvai, Sándor Imre, Sándor Szabó* Radio propagation modeling on 433 MHz, Materials of International Conference, EUNICE 2012, Budapest, 2012, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://dl.ifip.org/db/conf/ifip6-6/eunice2012/MilankovichLIS12.pdf>.
6. *Thomas Schwengler,* Wireless & Cellular Communications, Version 3.9, Telecommunication Systems Laboratory, Colorado, USA, 2016, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://morse.colorado.edu/~tlen5510/text/classwebch3.html#x14-570003.3.2>.
7. *M. S. Shairudin, N. M. Din, N. A. M. Radzi, I. S. Mustafa.* Comparison of propagation path loss models on outdoor wireless LAN Applications in rural areas, The 3rd National Graduate Conference (NatGrad2015), Universiti Tenaga Nasional, Putrajaya Campus, Malaysia ISBN 978-967-5770-63-0 2015. P.344-348.
8. *Parson, J. D.,* Mobile Radio Propagation Channel, Wiley, Chichester, West Sussex, England, 1992.
9. *Blaunstein, N., D. Censor, D. Katz, A. Freedman, and I. Matityahu,* \Radio propagation in rural residential areas with vegetation," Progress In Electromagnetics Research.-2003.- Vol. 40, P.131-153.
10. *NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second V003.* [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://gcmd.nasa.gov/KeywordSearch/Metadata.do?Portal=NASA&KeywordPath=%5BS>

ensor_Name%3A+Short_Name%3D%26%23039%3BSRTM%26%23039%3B%5D&OrigMetadataNode=GCMD&EntryId=SRTMGL13&MetadataView=Full&MetadataType=0&lnode=mdlb5

11. *ASTER Global Digital Elevation Model Version 2 Aster GDEM2 – Summary of Validation Results*, 2011, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://ssl.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/ver2Validation/Summary_GDEM2_validation_report_final.pdf

12. *Інструкція з топографічного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500* (ГКНТА-2.04-02-98), [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98>

13. *Калькуляція вибірки*, Соціо Поліс, Інститут соціальних технологій, [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sociopolis.ua/uk/servisy/kalkulator-vybirky/>

14. Кучер О. В., Марченко О. М., Марченко Д. О., Заєць І. М. Про використання глобальних моделей EGM08 та EGG08 для визначення висот квазігеоїда на територію України. / О. В. Кучер, О. М. Марченко, Д. О. Марченко, І. М. Заєць //Вісник геодезії та картографії.- 2012.-№4.- С. 13-17

REFERENCES

1. Prymak L. (2018). Osnovni vymohy do skladu topografichnoho zabezpechennia dlia radiochastotnoho planuvannia telekomunikatsiinykh system [The main requirements for topographic components for the purposes of radio network planning and optimization]. *Inzhenerna heodeziia – Engineering Geodesy*, 65, 158-168 [in Ukrainian].

2. Karpinskyi Yu. O., Lyashchenko.A.A., Runets R. V. (2010). Etalonna model bazy topografichnykh danykh [The reference model of topographical data base]. *Visnyk geodeziyi ta kartografiyi – Geodesy and Cartography Digest*, 2(65), 28-36 [in Ukrainian].

3. Atoll 3.2.1 Model Calibration Guide, Release AT321_MCG_E2 (2014). Forsk.

4. Nasir Faruk, Adeseke A. Ayeni, Yunusa A., Adediran Egli. (2013). On the study of empirical path loss models for accurate prediction of tv signal for secondary users. - *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 49, 155-176.

5. Ákos Milánkovich, Károly Lendvai, Sándor Imre, Sándor Szabó. (2012). Radio propagation modeling on 433 MHz. *Materials of International Conference, EUNICE*. Retrieved from <http://dl.ifip.org/db/conf/ifip6-6/eunice2012/MilankovichLIS12.pdf>.

6. Thomas Schwengler (2016). Wireless & Cellular Communications, Version 3.9, Telecommunication Systems Laboratory, Colorado, USA. Retrieved from <http://morse.colorado.edu/~tlen5510/text/classwebch3.html#x14-570003.3.2>.

7. M. S. Shairudin, N. M. Din, N. A. M. Radzi, I. S. Mustafa (2015). Comparison of propagation path loss models on outdoor wireless LAN Applications in rural areas, *The 3rd National Graduate Conference (NatGrad2015)*, Universiti Tenaga Nasional, Putrajaya Campus, Malaysia ISBN 978-967-5770-63-0 2015, 344-348.

8. Parson, J. D.(1992). *Mobile Radio Propagation Channel*, Wiley, Chichester, West Sussex, England.

9. Blaunstein, N., D. Censor, D. Katz, A. Freedman, and I. Matityahu (2003). Radio propagation in rural residential areas with vegetation. *Progress In Electromagnetics Research*. Vol. 40, 131-153.

10. NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second V003. Retrieved from https://gcmd.nasa.gov/KeywordSearch/Metadata.do?Portal=NASA&KeywordPath=%5BSensor_Name%3A+Short_Name%3D%26%23039%3BSRTM%26%23039%3B%5D&OrigMetadataNode=GCMD&EntryId=SRTMGL13&MetadataView=Full&MetadataType=0&lnode=mdlb5.

11. ASTER Global Digital Elevation Model Version 2 Aster GDEM2 – Summary of Validation Results (2011). Retrieved from https://ssl.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/ver2Validation/Summary_GDEM2_validation_report_final.pdf.

12. Instruktsiia z topografichnoho znimannia u masshtabakh 1:5000, 1:2000, 1:1000 ta 1:500 (GKNTA-2.04-02-98) [Topographic mapping instruction at scales 1:5000, 1:2000, 1:1000 ta 1:500]. Retrieved from: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98_\[in Ukrainian\]](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98_[in Ukrainian]).

13. Kalkuliatsiia vybirky, Socio Polis, Institute of Social Technologies [Calculation of the sample, Socio Polis, Institute of Social Technology]. Retrieved from <http://sociopolis.ua/ru/servisy/kalkulator-vybirky/> [in Ukrainian].

14. Kucher O. V., Marchenko O. M., Marchenko D. O., Zayets I. M. (2012). Pro vikoristannya globalnykh modeley EGM08 i EGG08 dlya vizanennya visot kvazigeoida na teritoriyu Ukrainy [About the use of global models EGM08 and EGG08 to determine quasi-geoid heights on the territory of Ukraine]. *Visnyk geodeziyi ta kartografiyi – Geodesy and Cartography Digest*, 4, 13-17 [in Ukrainian].

Л.В. Примак

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ДАННЫХ О РЕЛЬЕФЕ МЕСТНОСТИ В ПЛАНИРОВАНИИ И ОПТИМИЗАЦИИ РАДИОЧАСТОТНЫХ ТЕЛЕКОМУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

В статье обоснована возможность использования общедоступных данных о рельефе местности, а именно SRTM версии 3.0 и Aster GDEM2 в планировании и оптимизации радиочастотных телекоммуникационных сетей. Расчитаны средне-квадратические погрешности при исчислении эмпирической модели Окумура-Хата для стандартных сотовых телекоммуникационных систем (UMTS) на основе топографических данных о рельефе масштаба 1: 2000, 1: 50000, SRTM версии 3.0 и Aster GDEM2. Расчеты выполнены в пределах территории выборки с доверительным интервалом 95% ± 3%, определенной путем районирования территории по значениям наклонов местности.

Ключевые слова: SRTM, Aster GDEM, ЦМР, радиопланирование, оптимизация радиосетей.

L. Prymak

THE USE OF DEM OPEN DATASOURCES FOR THE PURPOSES OF RADIO NETWORK PLANNING AND OPTIMIZATION

The article considers the bases of use the DEM open data sources such as SRTM version 3.0 and AsterGDEM2 for the purposes of radio network planning and optimization. The calculations were made within the sample area determined by zoning of

the territory by the terrain slopes with a confidence interval $95\% \pm 3\%$. The network Pass Loss prediction was calculated with the Atoll software based on Okumara-Hata formula for the standard Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) using each of the next digital terrain models: the topographic data of scale 1:2 000, the topographic data of scale 1: 50 000, SRTM version 3.0 and AsterGDEM2. The mean square errors were calculated with the ArcGIS ModelBuilder extension using such functions for the raster datasets as classification, mosaic, zonal statistics etc. The conclusions were made based on the permitted RMSE values 6-7 dB for urban areas, 10-15 dB for suburban and village areas.

Keywords: *SRTM, Aster GDEM, DEM, DTM, radio planning and optimization, radio propagation.*

Надійшла до редакції

26.02.2019

УДК 528.48:34.037:681.518

<https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.66.104-115>

Ю. Ю. Атаманенко, канд. техн. наук,
науковий співробітник науково-дослідної лабораторії
з проблемних питань правоохоронної діяльності
Донецький юридичний інститут МВС України

КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ БАЗИ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ ДЛЯ РЕЄСТРАЦІЇ ТА КАРТОГРАФУВАННЯ ДТП

У роботі розглянуто процес створення реляційної моделі бази геопросторових даних веб-порталу «Інформаційно-аналітичний центр моніторингу ДТП» відповідно до чинних вимог, які на сьогоднішній день висуваються до сучасних програмних продуктів.

База даних веб-порталу створена для інформаційного обслуговування патрульних поліцейських та учасників дорожньо-транспортних пригод. Вона містить дані щодо дорожньо-транспортних пригод (патрульних поліцейських, учасників ДТП, ТЗ, страхових компаній, загальні відомості про ДТП, матеріали аерознімання) та дає можливість отримувати різноманітні звіти про місце ДТП.

На основі трьох типів зв'язків між вісьма сутностями побудовано концептуальну модель бази геопросторових даних веб-порталу «Інформаційно-аналітичний центр моніторингу ДТП», яку представлено в роботі.

Ключові слова: *база геопросторових даних, концептуальна модель бази даних, веб-портал, дорожньо-транспортна пригода, реєстрація та картографування ДТП.*

Вступ. На підставі аналізу стану і тенденцій розвитку процесу реєстрації та картографування дорожньо-транспортних пригод (ДТП) у розвинених країнах і в Україні встановлено нагальність завдань з підвищення оперативності та достовірності процесу фіксації місця скоєння ДТП з використанням сучасних

цифрових технологій. Для комплексної автоматизації інформаційної підтримки діяльності патрульної поліції в процесі фіксації, реєстрації, аналізу та централізованого збереження інформації щодо дорожньо-транспортних пригод запропоновано геоінформаційну технологію реєстрації та картографування ДТП з використанням веб-порталу «Інформаційно-аналітичний центр моніторингу ДТП» [1], який створено на основі веб-портальної архітектури ГІС та сучасних досягнень у сфері мобільного зв'язку та телекомунікаційних технологій.

Таким чином, актуальність теми статті зумовлена необхідністю створення об'єктно-реляційної системи керування базою даних веб-порталу «Інформаційно-аналітичний центр моніторингу ДТП», яка дасть змогу довгостроково зберігати інформацію про ДТП у базі даних на центральному сервері системи та забезпечуватиме он-лайн доступ до бази даних з інформацією про ДТП тощо.

Отримана за допомогою бази геопросторових даних інформація сприятиме вирішенню страхових, юридичних чи технічних питань щодо конкретних ДТП, визначенню місць концентрації ДТП, розробленню і реалізації заходів для удосконалення засобів організації руху та дорожньої інфраструктури.

Аналіз досліджень і публікацій. Зазначимо, що проблематика створення геоінформаційних систем і технологій, питання, пов'язані із забезпеченням якості геопросторових даних, відображено у працях Ю. Карпінського, І. Колби, П. Колодія, Н. Лазоренко-Гевелі, А. Лященко, Р. Рунця та ін.

У науковій роботі [2] проаналізовано структуру і функції автоматизованої системи контролю та оцінювання якості геопросторових даних на основі концепції якості географічної інформації, що визначена в комплексі стандартів ISO 19100, та архітектури спеціалізованої ГІС, що ґрунтується на використанні універсальних систем керування базами даних (СКБД) для зберігання й оброблення геопросторових даних та бази знань з моделлю якості даних.

Авторами статті [3] досліджено технічні аспекти та принципи створення програмного засобу, спрямованого на планування оптимальних транспортних потоків дорожньої мережі з використанням різноманітних шарів геопросторових даних. Побудовано і пояснено UML-діаграму методу геоінформаційної мультиагентної оптимізації планування транспортних потоків дорожньої мережі та користувацького інтерфейсу.

Методи збирання геопросторових даних для топографічного картографування розглянуто та класифіковано авторами у статті [4], зокрема обґрунтовано проблему невідповідності нормативно-правового забезпечення в галузі виробництва, постачання і використання геопросторових даних сучасним потребам суспільства, високому рівню розвитку інформаційних технологій та нових методів збирання геопросторових даних.

Постановка завдання. Розробити концептуальну модель бази геопросторових даних веб-порталу «Інформаційно-аналітичний центр моніторингу ДТП» з використанням нотацій мови UML, що створює умови для комплексної автоматизації інформаційної підтримки діяльності патрульної поліції в процесі фіксації аерозніманням БПЛА, реєстрації, аналізу та централізованого збереження інформації про дорожньо-транспортні пригоди.

Основна частина. Вибір веб-портальної архітектури для реалізації геоінформаційної технології реєстрації й картографування ДТП за допомогою

безпілотних літальних апаратів (БПЛА) зумовлюється тим, що ключовими призначенням технології є автоматизація й інформаційна підтримка діяльності патрульної поліції в процесі фіксації, реєстрації, аналізу та централізованого збереження інформації щодо ДТП у базі геопросторових даних веб-порталу «Інформаційно-аналітичний центр моніторингу ДТП» [5; 2].

Вибір конкретної СКБД як сервера бази даних веб-порталу «ІАЦ моніторингу ДТП» ґрунтується на дотриманні функціональних, технічних, комерційних й ергономічних вимог.

До основних функціональних вимог належать такі: здатність вводити та накопичувати інформацію про дорожньо-транспортну пригоду; опрацювання матеріалів знімання з БПЛА; створення ортофотопланів місця ДТП із розрахованими відстанями; швидке генерування звітів – протоколів місця ДТП у pdf-формат.

Технічні вимоги полягають, по-перше, в якості програмування (алгоритмів оброблення даних), і, по-друге, у передбаченні низки сервісних параметрів, потрібних для ефективної роботи програми в межах програмно-апаратного комплексу.

До основних технічних вимог належать такі:

- невибагливість до апаратного забезпечення (програма повинна ефективно працювати на мобільних комп'ютерних пристроях із середніми характеристиками);
- наявність мобільного Інтернету;
- можливість редагування документів і звітів, що дає користувачеві змогу створити форму звіту, яка потім буде виведена на екран монітора чи портативний принтер;
- обмін даними з іншими програмами та пристроями;
- робота в локальних комп'ютерних мережах;
- забезпечення захисту інформації із застосуванням системи паролів;
- засоби створення архівів даних та автоматичне відновлення інформації у разі збою.

Під комерційними вимогами розуміють вимоги, пов'язані з умовами придбання й експлуатації ГІС, пропонованими Департаменту патрульної поліції.

Основні комерційні вимоги: прийнятна ціна ГІС (слід розрізняти вартість власне системи та вартість її впровадження і супроводу); супровід ГІС, що полягає в навчанні роботи з системою й налагодження на реєстрацію ДТП; оперативні консультації з проблем, які виникають у процесі роботи; оновлення старої версії ГІС, її швидка заміна на нові; висока якість паперової й електронної документації.

До ергономічних вимог належать зручність інтерфейсу користувача та розвинена система програмної допомоги.

Для реалізації зазначених вимог придатні майже всі СКБД (MariaDB, MySQL, MS Access, PostgreSQL, Oracle, Server, Microsoft SQL), вони усі підтримують реляційну модель бази даних і дають усебічні можливості для роботи з даними [6; 7]. Для веб-порталу «ІАЦ моніторингу ДТП» обрано найбільш оптимальну клієнт-серверну СКБД – MySQL.

Базу даних (БД) створено для інформаційного обслуговування співробітників патрульної поліції й учасників дорожньо-транспортних пригод. Вона містить дані щодо дорожньо-транспортних пригод (патрульних поліцейських, учасників ДТП, ТЗ,

страхових компаній, загальних відомостей ДТП, матеріалів аерознімання) та дає можливість отримувати різноманітні звіти про місця ДТП на підставі збережених файлів.

Відповідно до предметної галузі систему побудовано з огляду на такі особливості (рис. 1):

- патрульний поліцейський з-поміж співробітників відділу патрульної поліції з оформлення ДТП може реєструвати необмежену кількість ДТП;
- патрульний поліцейський з-поміж співробітників відділу патрульної поліції з оформлення ДТП може оформлювати велику кількість протоколів ДТП;
- одна дорожньо-транспортна подія може бути зареєстрована в одному протоколі (рис. 1).



Рис. 1. Структура побудови БД відповідно до особливостей предметної галузі

У теорії та практиці проектування і реалізації БД розрізняють три рівні розгляду предметної сфери та відповідно три рівні моделювання даних, а саме: концептуальний, логічний (зовнішній) та фізичний (внутрішній). Це сучасні найменування рівнів моделювання даних, відповідних термінології за міжнародними та національними стандартами з інформаційних технологій, зокрема ДСТУ ISO/IEC 2382-17:2005.

У контексті проектування баз даних, моделлю є сукупність понять, описів на формальних мовах і графічних схемах, використовуваних для зображення структури даних та операцій їх оброблення в базі даних [8]. У центрі уваги радше опис моделі бази даних, аніж методів, використовуваних для її створення. Іншими словами, модель бази даних є лише основою для реалізації бази даних. Вона описує, що саме повинно бути включене в базу даних, а не як база даних будується.

У моделі даних відображаються найважливіші аспекти функціонування визначеної предметної сфери, а другорядні – ігноруються, тобто вона є певною цільовою моделлю предметної сфери, у якій розрізняють три головні складові: структурну і керівну частини, а також обмеження. В структурній частині визначається склад сутностей та логічні зв'язки між ними. Через класи обмежень цілісності визначаються засоби опису коректних станів бази даних, а через керівну частину – способи переходу між станами БД і способи отримання даних з бази даних. Керівна частина містить специфікацію однієї або кількох мов, призначених для створення запитів до бази даних.

Кінцевою метою процесу моделювання даних є розроблення задокументованої та формально описаної схеми бази даних, яка визначається як сукупність різних схем, кожна з яких має такі властивості: належить до конкретного рівня подання певної предметної сфери як світу сутностей та до відповідних аспектів

бази даних, що розглядаються; визначає форми подання (формалізми), відповідні рівню розгляду, які охоплюють аспекти маніпулювання цими формами.

Концептуальна модель – це високорівневий абстрактний опис концептів предметної сфери (понять, складу, структури та зв'язків) з використанням базових формалізмів обраного загального підходу до моделювання даних (зазвичай реляційного або об'єктно-реляційного) незалежно від фізичного середовища реалізації бази даних [9].

На етапі концептуального моделювання здійснюється визначення й опис досліджуваних об'єктів чи явищ, зокрема визначаються типи (класи) об'єктів і типи та домени значень їх атрибутів, встановлюються взаємозв'язки між об'єктами й обмеження.

Концептуальні моделі в сучасних інформаційних технологіях використовують для реалізації систем з так званою модельно-керованою архітектурою, розробники якої виходять з того, що тривалість життя певної технічної реалізації є значно коротшою, ніж термін придатності використовуваної інформації. Це зумовлює потребу в поданні інформації способом, який передбачає можливість використання нових методів і засобів реалізації без зміни раніше упорядкованої та збереженої інформації [10]. Відповідно до вимог стандарту ДСТУ ISO 19101 «Географічна інформація. Еталонна модель» для концептуального моделювання використовується уніфікована мова моделювання UML. На UML-діаграмах з використанням уніфікованих нотацій визначаються типи об'єктів, їх атрибути й асоціації між об'єктами. Ґрунтуючись на цій сучасній методології для предметної сфери ГІС-реєстрації ДТП визначено відповідні сутності як типи об'єктів бази даних, наприклад: патрульні поліцейські, учасники дорожньо-транспортних пригод, транспортні засоби, загальні дані про місце ДТП, протоколи з місця ДТП тощо. Атрибути сутностей є поіменною характеристикою сутностей, їх найменування повинно бути унікальним для конкретного типу сутності, але може бути однаковим для різного типу сутностей. Ключовим атрибутом (ключем) сутності є один або більше атрибутів з-поміж тих, що унікально визначають певний об'єкт, наприклад, для сутності «Патрульний поліцейський» ключовим є атрибут «Id_патрульний поліцейський», для сутності «Файл ДТП» – «Id_ДТП_Протокол».

Розглянемо докладніше кожен із сутностей бази даних для реєстрації ДТП.

Для сутності «ДТП_Протокол» первинним ключем є Id_ДТП_Протокол. Ця сутність має такі зовнішні ключі для зв'язку із іншими сутностями, на які посилаються в протоколи: Id_Патрульний поліцейський, Id_Учасники ДТП, Id_Дані про ДТП, Id_ТЗ, Id_Страхові компанії та Id_Ортофотоплани (рис. 2).

ДТП_Протокол	
Id_ДТП_Протокол	
Id_Патрульний поліцейський	
Id_Учасники ДТП	
Id_Дані про ДТП	
Id_ТЗ	
Id_Страхові компанії	
Id_Ортофотоплани	

Рис. 2. Сутність «ДТП_Протокол»

Сутність «Патрульний поліцейський» має такий атрибут, як ПІБ патрульного поліцейського. Первинним ключем є Id_Патрульний поліцейський. Ця сутність потрібна для того, щоб у базі зберігалась інформація про поліцейських патрульної поліції, які здійснюють реєстрації ДТП (рис 3).

Патрульний поліцейський	
Id_Патрульний поліцейський	
ПІБ патрульного поліцейського	

Рис. 3. Сутність «Патрульний поліцейський»

Сутність «Учасник ДТП» має такі атрибути: ПІБ учасника ДТП, дата народження, адреса, країна та телефон (рис. 4). Первинним ключем є Id_Учасник ДТП, ключовим полем – Id_Посвідчення водія. Ця сутність потрібна для того, щоб у базі даних накопичувалась інформація про громадян, які були зареєстровані як учасники ДТП.

Учасник ДТП	
Id_Учасник ДТП	
ПІБ учасника ДТП	
Дата народження	
Адреса	
Країна	
Телефон	
Id_Посвідчення водія	

Рис. 4. Сутність «Учасник ДТП»

Сутність «Посвідчення водія» має такий атрибут, як категорія посвідчення водія. Первинним ключем є Id_Номер посвідчення (рис. 5).

Посвідчення водія	
Id_Номер посвідчення	
Категорія посвідчення водія	

Рис. 5. Сутність «Посвідчення водія»

Сутність «ТЗ» має такі атрибути, як марка чи тип транспортного засобу, країна. Первинним ключем є Id_ТЗ, ключовим полем – Id_Державний реєстраційний номер (рис. 6). Ця сутність потрібна для того, щоб у базі даних відбувалося накопичення інформації про державні реєстраційні номерів ТЗ, які були зафіксовані під час оформлення ДТП.

ТЗ	
Id_ТЗ	
Марка чи тип ТЗ	
Країна	
Id_Державний реєстраційний номер	

Рис. 6. Сутність «ТЗ»

Сутність «Страхова компанія» має такі атрибути: назва страхової компанії, номер поліса, номер зеленої карти, сертифікат (термін дії), агентство, назва

агентства, країна, телефон, e-mail, можливість відшкодування збитків (Так / Ні). Первинним ключовим полем є Id_Страхова компанія (рис. 7). Ця сутність потрібна для того, щоб у базі даних були зазначені страхові компанії, у яких обслуговуються зареєстровані транспортні засоби.

Страхова компанія	
Id_Страхова компанія	
Назва страхової компанії	
Номер поліса	
Номер зеленої карти	
Сертифікат (термін дії)	
Агентство	
Назва агентства	
Країна	
Телефон	
E-mail	
Можливість відшкодування збитків	

Рис. 7. Сутність «Страхова компанія»

Сутність «Дані про ДТП» має такі атрибути: місце скоєння ДТП; район; широта; довгота; шкода, заподіяна життю та здоров'ю, навіть якщо вона незначна (Так / Ні); шкода, заподіяна майну, крім шкоди ТЗ (Так/Ні); шкода, заподіяна об'єктам, крім ТЗ (Так / Ні); видимі пошкодження ТЗ; причини та обставини. Первинним ключем є Id_Дані про ДТП (рис. 8).

Дані про ДТП	
Id_Дані про ДТП	
Місце скоєння ДТП	
Район	
Широта	
Довгота	
Шкода, заподіяна життю та здоров'ю, навіть якщо вона незначна	
Шкода, заподіяна майну, крім шкоди ТЗ	
Шкода, заподіяна об'єктам, крім ТЗ	
Видимі пошкодження ТЗ	
Причини	
Обставини	

Рис. 8. Сутність «Дані про ДТП»

Сутність «Ортофотоплан» має такі атрибути: назва знімка, кількість метрів у pixel, дата. Ключовим полем є Id_Ортофотоплан (рис. 9).

Ортофотоплан	
Id_Аерознімок	
Назва ортофотоплана	
Кількість метрів у pixel	
Дата	

Рис. 9. Сутність «Ортофотоплан»

Сутність «ДТП_Файл» має такі атрибути, як назва файла та дата. Первинним ключем є Id_ДТП_файл, ключовим полем – Id_ДТП_Протокол (рис. 10).

ДТП_Файл	
Id_ДТП_Файл	
Назва файла	
Дата	
Id_ДТП_Протокол	

Рис. 10. Сутність «ДТП_Файл»

На основі визначених сутностей розроблено концептуальну схему бази даних, на якій відображено усі сутності та зв'язки між ними (рис. 11).

У базі даних для автоматизованого розв'язання комплексу функціональних завдань реєстрації та картографування ДТП використано три типи зв'язків, які побудовано на таких припущеннях:

–один з багатьох патрульних поліцейських відділу патрульної поліції може зареєструвати велику кількість ДТП_Протоколів;

–один або декілька з багатьох учасників ДТП можуть бути учасниками багатьох ДТП_Протоколів; один або декілька з усіх наявних ТЗ можуть бути зареєстровані в багатьох ДТП_Протоколах;

–одна або багато з представлених страхових компаній у базі даних можуть бути зареєстровані у великій кількості ДТП_Протоколів;

–одні й ті самі дані про відповідне ДТП можуть бути вказані в одному ДТП_Протоколі;

–багато з усіх наявних аерознімків місця ДТП можуть бути оформлені лише в одному ДТП_Протоколі;

–один ДТП_файл містить один ДТП_Протокол; один номер посвідчення водія може бути в одного учасника ДТП.

Висновки. У роботі представлено базу геопросторових даних веб-порталу «Інформаційно-аналітичний центр моніторингу ДТП», розроблену з використанням нотацій мови UML, що створює умови для автоматизації робіт з упровадження нових компонентів інформаційних технологій в процесі експлуатації системи. Дослідження засвідчили, що реляційна база даних веб-порталу створена відповідно до чинних вимог, які на сьогоднішній день ставлять до сучасних програмних продуктів.

База геопросторових даних веб-порталу створена для інформаційного обслуговування співробітників патрульної поліції та учасників дорожньо-транспортних пригод. Вона містить дані щодо дорожньо-транспортних пригод та дає можливість отримувати різноманітні звіти про місце ДТП на основі довгострокового зберігання інформації у базі даних на централізованому сервері системи.

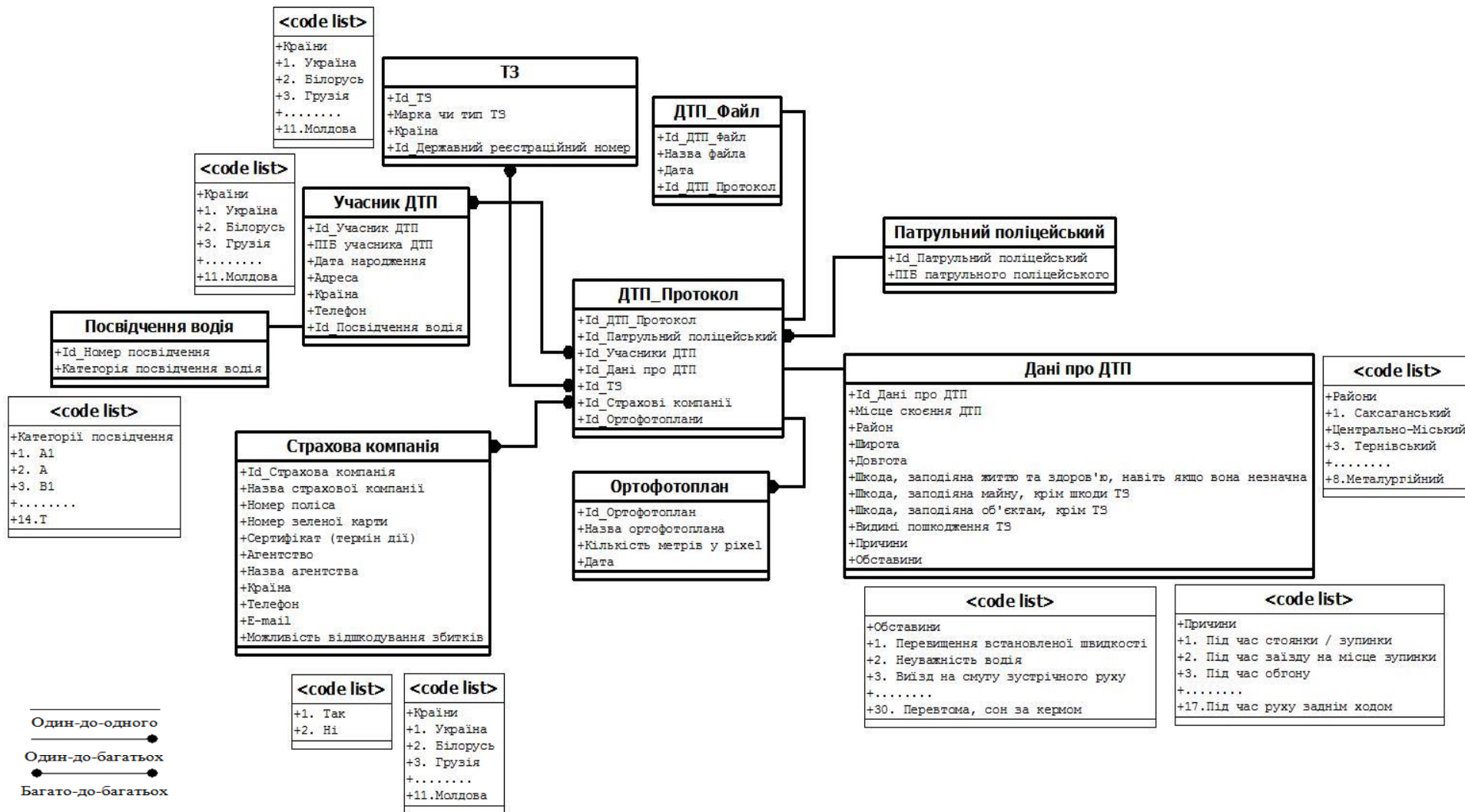


Рис. 11. Концептуальна модель БД веб-порталу «Інформаційно-аналітичний центр моніторингу ДТП»

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Kulikowska O. Y.* Innovative solution of mapping process of accident site / O. Y. Kulikowska, Y. Y. Atamanenko, O. K. Korayhora // East European Scientific Journal. – Warsaw, Poland. – 2018. – № 3 (31). – Part 3. – P. 15 – 22.
2. *Лященко А.* Функціональна модель автоматизованої системи контролю та оцінювання якості геопросторових даних / А. Лященко, М. Горковчук // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2014. – Вип. I (27). – С. 103 – 108.
3. *Гуцул Т. В.* Прикладні аспекти програмно-апаратної реалізації методу геоінформаційної мультиагентної оптимізації планування транспортних потоків дорожньої мережі / Т. В. Гуцул // Інженерна геодезія. – 2018. – Вип. 65. – С. 114 – 125.
4. *Карпінський Ю.* Методи збирання геопросторових даних для топографічного картографування / Ю. Карпінський, Н. Лазоренко-Гевель // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2018. – Вип. I (35). – С. 204 – 211.
5. *Дерех З. Д.* Експертні геоінформаційні системи прийняття рішень в організації дорожнього руху / З. Д. Дерех, А. А. Лященко // Безпека дорожнього руху України. – 2000 – №1 (6). – С. 63 – 72.
6. *Тхуреин К. Л.* Использование технологий баз данных для системной интеграции гетерогенных комплексов научных вычислений: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.15 / Киев Лин Тхуреин. – СПб, 2012. – 142 с.
7. Компания MySQL AB. MySQL. Справочник по языку. – М.:Вильямс, 2005. – 432 с.
8. *Кейк Д.* Геоінформаційні технології та інфраструктура геопросторових даних: у шести томах. – Т. 2: Системи керування базами геоданих для інфраструктури просторових даних: навч. пособ. / Д. Кейк, А. Лященко, В. Путренко та ін. – Київ: Планета-Прінт, 2017. – 456 с.
9. *Лященко А. А.* Онтологічний підхід до створення каталогу бази топографічних даних / А. А. Лященко, Р. М. Рунець // Інженерна геодезія. – 2008. – Вип. 54. – С. 116 – 123.
10. *Карпінський Ю. О.* Склад і принципи розроблення національного профілю стандартів з географічної інформації /Ю.О. Карпінський, А. А. Лященко, Ясуюкі Окада // Інженерна геодезія. – 2016. – Вип. 63. – С. 110 – 121.

REFERENCES

1. Kulikowska O.Ye., Atamanenko YU. YU., Korajgora O. K. (2018). Innovacijne rishennya procesu kartografuvannya miscya avarii [Innovative solution of mapping process of accident site]. *Skhidnoyevropejskij naukovij zhurnal – East European Scientific Journal*, 3 (31), 15 – 22.
2. Lyashchenko A., Gorkovchuk M. (2014). Funkcionalna model' avtomatizovanoї sistemi kontrolyu ta ocinyuvannya yakosti geoprostorovih danih [Functional model of automated system for geospatial data quality control and evaluation]. *Suchasni dosyagnennya geodezichnoyi nauki ta virobnictva – Modern achievements in geodetic science and production*, I (27), 103 –108 [in Ukrainian].

3. Gucul T. V. (2018). Prikladni aspekti programno-aparatnoї realizacii metodu geoinformacijnōi multiagentnoї optimizaciyi planuvannya transportnih potokiv dorozhnoyi merezhi [Applied aspects of software implementation of geoinformation multiagent optimization method planning transport flows of the road network]. *Inzhenerna geodeziya – Engineering geodesy*, 65, 114 – 125 [in Ukrainian].

4. Karpinskij YU., Lazorenko-Gevel' N. (2018). Metodi zbirannya geoprosstorovih danih dlya topografichnogo kartografuvannya [The methods of geospatial data collection for topographic mapping]. *Suchasni dosyagnennya geodezichnoyi nauki ta virobnictva – Modern achievements in geodetic science and production*, I (35), 204 – 211 [in Ukrainian].

5. Derekh Z. D., Lyashchenko A. A (2000). Ekspertni geoinformacijni sistemi priynyattya rishen v organizacii dorozhnogo ruhu [Expert geoinformation systems of decision making in the organization of traffic]. *Naukovo-tekhnichnij visnik bezpeka dorozhnogo ruhu Ukraїni – Scientific and Technical Bulletin of the Road Safety of Ukraine*, 1 (6), 63 – 72 [in Ukrainian].

6. Thurein K. L. (2012). Ispolzovanie tekhnologij baz dannyh dlya sistemnoj integracii geterogennyh kompleksov nauchnyh vychislenij [Use of database technologies for system integration of heterogeneous scientific computing complexes]. St. Petersburg [in Russian].

7. Kompaniya MySQL AB. (2005). MySQL. Spravochnik po yazyku [MySQL. Language guide]. *Moscow: Williams Publishing House* [in Russian].

8. Kejk D., Lyashchenko A., Putrenko V., Hmelevskij YU., Doroshenko K., Govorov M. (2017). Geoinformacijni tekhnologii ta infrastruktura geoprosstorovih danih: u shesti tomah. Tom 2: Sistemi keruvannya bazami geodanih dlya infrastrukturi prosstorovih danih [Geoinformation technologies and geospatial data infrastructure: six volumes. Volume 2: Geospatial database management systems for spatial data infrastructure.]. *Kyiv: Planet-Print* [in Ukrainian].

9. Lyashchenko A. A. (2008). Ontologichnij pidhid do stvorennya katalogu bazi topografichnih danih [An ontological approach to creating a catalog of topographic data base]. *Inzhenerna geodeziya – Engineering geodesy*, 54, 116 – 123 [in Ukrainian].

10. Karpins'kij YU. O., Lyashchenko A. A., YAsuyuki Okada (2016). Sklad i principi rozroblennya nacional'nogo profilyu standartiv z geografichnoї informacii [Composition and principles of development of the national profile of standards for geographic information]. *Inzhenerna geodeziya – Engineering geodesy*, 63, 110 – 121 [in Ukrainian].

Ю. Ю. Атаманенко

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ БАЗЫ ГЕОПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ДТП

В работе рассмотрен процесс создания реляционной модели базы геопространственных данных веб-портала «Информационно-аналитический центр мониторинга ДТП» в соответствии с действующими требованиями, которые на сегодняшний день предъявляются к современным программным продуктам.

База данных веб-портала создана для информационного обслуживания патрульных полицейских и участников дорожно-транспортных происшествий. Она содержит данные о дорожно-транспортных происшествиях (патрульных полицейских, участников ДТП, ТС, страховых компаний, общие сведения о ДТП, материалы аэросъемки) и позволяет получать разнообразные отчеты о месте ДТП.

На основе трех типов связей между восемью сущностями построена и представлена концептуальная модель базы геопространственных данных веб-портала «Информационно-аналитический центр мониторинга ДТП».

Ключевые слова: база геопространственных данных, концептуальная модель базы данных, веб-портал, дорожно-транспортное происшествие, регистрация и картографирование ДТП.

Yu. Atamanenko

CONCEPTUAL MODEL BASES OF GEOPROSTATIVE DATA FOR REGISTRATION AND CARTOGRAPHING OF ACCIDENT

The process of creation of the relational model of the geospatial data base of the web-portal "Information-analytical center of accident monitoring" is considered in accordance with the current requirements, which today are being advanced to modern software products.

The database of the "Information and Analytical Center for the Monitoring of Accidents" Web Portal was created for informational servicing of patrols and road accident victims. Eight entities of the created model of the database of the investigated branch are defined, their primary keys, attributes and key fields are characterized.

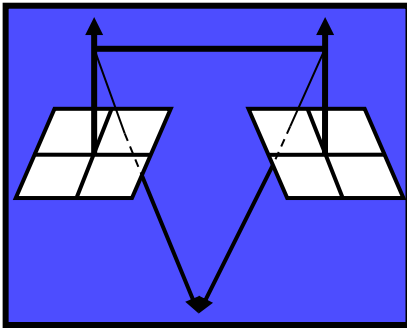
The conceptual model of the base of geospatial data of the web-portal "Information-analytical center of accident monitoring" is presented, which is based on three types of connections between such entities as: Accident Protocol, patrol policeman, participant in an accident, driver's license, vehicles, insurance company, data on traffic accidents, aerial photos, DTP-files and their attributes (for example, the name of the insurance company, the policy number, the name of the patrol policeman, the driver's name, road accident, telephone, country, etc.).

The created geospatial database of the web-portal includes data on traffic accidents (patrols, traffic accident participants, carriers, insurance companies, general road accident information, aerial material), and provides the opportunity to receive various reports on the location of an accident on the basis of stored files.

Keywords: *geospatial data base, conceptual database model, web portal, traffic accident, registration and mapping of road accidents.*

Надійшла до редакції

11.04.2019



ФОТОГРАМЕТРІЯ ТА ДИСТАНЦІЙНЕ ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

УДК 528.8

<https://doi.org/10.32347/0130-6014.2019.66.116-127>

О.В. Мельник, канд. техн. наук, доцент,

В.У. Волошин, канд. техн. наук, доцент,

П.В. Манько, асп. кафедри геодезії, землевпорядкування та кадастру,

М.В. Волошин, асп. кафедри геодезії, землевпорядкування та кадастру

Східноєвропейський національний університет імені Лесі Українки

КЛАСИФІКАЦІЯ ТЕРИТОРІЇ НПП “ПРИП’ЯТЬ-СТОХІД” ЗА ДАНИМИ SENTINEL-2

Запропоновано методу дослідження природно-заповідних територій з використанням ГІС QGIS за даними дистанційного зондування Sentinel-2, яку апробовано на територію Національного природного парку “Прип’ять–Стохід”. За результатами неконтрольованої класифікації за методом ISODATA та дешифрування обрано сім класів, чітко відповідних природним й антропогенним об’єктам. На основі визначених за алгоритмом ISODATA класів була складена неконтрольована класифікація за алгоритмом K-Means. Розбіжність розподілу пікселів класифікованих зображень за класами між обома методами становить в середньому 1.4%. Дані класифікації за обома методами корелюють з проектом організації природо-заповідної території “Прип’ять–Стохід”, що був розроблений у 2008 році.

Ключові слова: космічний знімок, природно-заповідний фонд, природні об’єкти, класифікація зображення, метод ISODATA, метод K-Means.

Вступ. Високоякісні мультиспектральні і гіперспектральні зображення, одержувані нині під час знімання з бортів численних космічних апаратів (КА), містять надзвичайно великий обсяг інформації, що сприяє значному розширенню можливостей дистанційних методів і технологій. Дані дистанційного зондування (ДДЗ) середнього, високого та надвисокого просторового розрізнення, що останнім часом все більше поширюються у вільному доступі, дедалі частіше застосовують у практичній діяльності під час створення ефективних варіантів оброблення тематичної інформації та належної матеріально-технічної бази наукових досліджень в різноманітних народногосподарських сферах. Одним із таких напрямків є моніторинг природно-заповідних територій України. Однак широке впровадження їх у практику моніторингу обмежується перш за все тим, що для обробки растрових даних зазвичай використовується комерційне

програмне забезпечення. Саме це спонукало нас до опрацювання технології оброблення ДДЗ Sentinel-2 за допомогою лише вільного програмного забезпечення з відкритим кодом.

Частиною процесу вирішення актуальних наукових і важливих практичних завдань з використанням космічних зображень, як правило, є процедура їх класифікації. Найбільш точні результати при цьому дає метод контрольованої класифікації, що передбачає наявність апріорної інформації про ознаки класів. Таку інформацію отримують з навчальних вибірок, однак виділити в реальних умовах серед природних об'єктів абсолютно «чисті» навчальні вибірки не вдається: в їх складі зазвичай в тій або іншій кількості наявні сторонні елементи - вкраплення. Одним з варіантів вирішення завдання з пошуку оптимальних ділянок для здійснення контрольованої класифікації є попереднє оброблення зображень за методами неконтрольованої класифікації.

Аналіз досліджень і публікацій. Значний внесок у розвиток напрямку ДЗЗ та використання й оброблення різноманітних даних, отримуваних з КА, внесли вітчизняні вчені В. Лялько [1], М. Попов [2], О. Берладін [3], Б. Поліщук [4], Х. Бурштинська, С. Станкевич [5], С. Миклуш, С. Гаврилюк, О. Часковський [6]. Питання класифікації космічних зображень висвітлено в роботах зарубіжних вчених G. Foody, D. Boyd [7], K. Hirose, M. Osaki, T. Takeda [8], M. Immitzer, F. Vuolo [9], M. Moore, M. Bauer [10], F. Omruuzun, D. Baskurt [11], J. Richards [12].

Постановка завдання. Однією з головних невирішених проблем дистанційного моніторингу природно-заповідних ландшафтних систем на основі даних високого просторового розрізнення залишається брак чітких однорідних меж та «зашумленість» існуючих територій іншими природними об'єктами, що призводить до значних похибок у складанні лише контрольованої класифікації на основі тренувальних вибірок.

Тому, на нашу думку, класифікація природно-заповідних територій повинна здійснюватися у наступні етапи:

- здійснення попередньої неконтрольованої класифікації із застосуванням одного із широкоживаних методів;
- порівняння результатів неконтрольованої класифікації із даними дешифрування ДЗЗ;
- на підставі отриманих даних здійснити вибір завіркових тренувальних вибірок для подальшої контрольованої класифікації відповідних природно-заповідних територій.

Питання вибору методу неконтрольованої класифікації об'єктів засобами лише відкритого програмного забезпечення висвітлено в статті.

Виклад основного матеріалу. Нині для дослідження територій природних об'єктів широко застосовують дані дистанційного зондування як джерела даних для складання карт природоохоронного, екологічного, природо-ресурсного характеру тощо. Оперативність отримання даних дистанційних знімів дала змогу змінити традиційні підходи до картографування та моніторингу природних ландшафтів.

Серед постачальників даних дистанційного зондування для потреб моніторингу природно-заповідного фонду можна виділити такі групи:

- космічні зображення оптичного і радіодіапазонів з великим просторовим розрізненням (10-20 (30) м) – ШСЗ типу SPOT-6, SPOT-7, Landsat-7, Landsat-8, “Ресурс-01”, “Ресурс-Ф” тощо;
- космічні або аерозображення оптичного і радіодіапазонів надвисокого просторового розрізнення (1-5 м) – ШСЗ типу Ikonos, QuickBird, WorldView тощо.

Одним з новітніх елементів у сучасному дистанційному зондуванні Землі є проект Copernicus Європейського космічного агентства (ESA). У 2014 році ESA розпочало створення автоматичної системи отримання інформаційних продуктів супутників Sentinel-2 (S2). Місія Sentinel-2, має великий потенціал для точної класифікації та моніторингу природних угідь, оскільки може поєднувати високе просторове розрізнення, широке покриття і стислий час оновлення (близько 5 днів). Супутник S2 має мультиспектральний сенсор з 13 смугами від 0,443 до 2,190 мкм. Мультиспектральні дані у видимому та NIR-діапазонах, доступні у високому просторовому розрізненні (10 м), якнайкраще придатні для застосування в дослідженнях природних об'єктів. Доступні також чотири сегменти інфрачервоного спектра з просторовим розрізненням 20 м, які підходять для аналізу вмісту хлорофілу та для параметризації еколого-фізіологічних великомасштабних моделей [13].

Одним з методів аналізу отриманих даних дистанційного зондування є їх класифікація (класифікування). Класифікація – це процес оброблення сигналів зображення, результатом якого є категорування (віднесення) кожного з об'єктів (пікселів), що знаходяться в межах відзнятої сцени, до відповідного класу. При цьому виходять з того, що кожному пікселю мультиспектрального зображення відповідає набір значень спектральних ознак, або вектор в спектральному просторі, розмірність якого дорівнює повній кількості зональних зображень у складі мультиспектрального знімка. Тоді процес класифікації зводиться до розподілу за певним методом (алгоритмом) всіх пікселів по класах відповідно до відбивної здатності (значенням спектральної яскравості) кожного об'єкта в одній або декількох зонах електромагнітного спектра [14].

Розрізняють два типи методів (алгоритмів) для здійснення такого розподілу – контрольовану і неконтрольовану класифікацію.

Будь-який метод контрольованої класифікації передбачає наявність навчальних вибірок, що дає змогу визначити еталонні спектральні ознаки кожного з наявних класів і сформувавши правило (алгоритм) переходу від показників спектральної яскравості до класів об'єктів. Такий метод називають також класифікацією з навчанням.

У випадках, коли немає навчальних вибірок і тому неможливо отримати еталонні спектральні ознаки кожного з наявних класів, застосовують методи й алгоритми неконтрольованої класифікації.

Тому за браком завіркової інформації для потреб контрольованої класифікації пропонується інша схема дослідження природних об'єктів (рис.1).

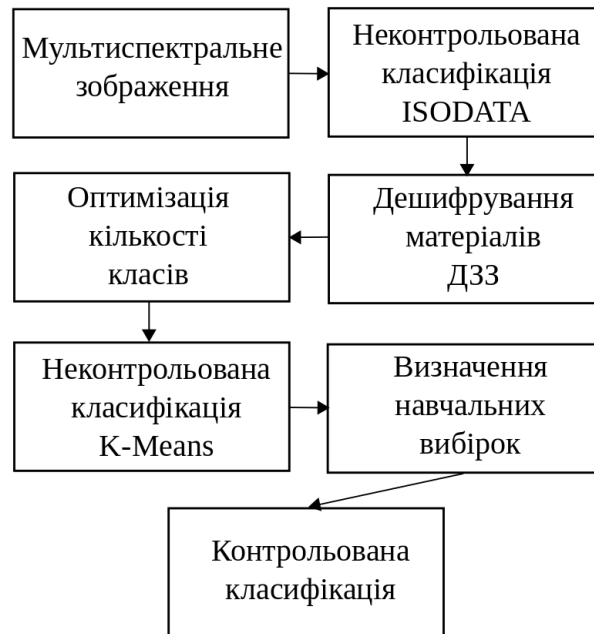


Рис. 1. Структурна схема досліджень

Найбільш популярними серед алгоритмів неконтрольованої класифікації (кластеризації) є алгоритми K-Means і ISODATA.

Метод класифікації K-Means (K-Means Classification) ґрунтується на поділі множини значень спектральних ознак пікселів X на фіксовану кількість k кластерів, які локально мінімізовані щодо відстані між поточним пікселем і центром (центроїдом) кластера. Цільову функцію алгоритму представлено формулою:

$$F = \sum_{i=1}^k \sum_{x_i \in X_j} \|x_i - \mu_j\|^2, \quad (1)$$

де μ_j – центроїд кластера $j = \overline{1..k}$.

Вибір відповідного кластера k для заданої точки x_i в процесі роботи алгоритму зумовлено нерівністю:

$$\|x_i - \mu_j\|^2 = \min \{ \|x_i - \mu_j\|^2 \}_{j=1}^k. \quad (2)$$

Кожен піксель буде віднесений до того кластера, центроїд якого лежить найближче до нього.

Знаходження центроїдів кластерів відбувається за формулою:

$$\mu_j = \frac{1}{|X_j|} \sum_{x \in X_j} x, \quad j = \overline{1..k}. \quad (3)$$

Подальші ітерації знаходження центроїдів кожного з кластерів виконують за допомогою формул (2) та (3).

Точність визначення кожного кластера за неконтрольованої класифікації визначається так

$$m_j^2 = \frac{\sum_{x_i \in X_j} \|x_i - \mu_j\|^2}{(N_j - \mu_j)^b}, \quad (4)$$

де N_j – кількість пікселів в j – му кластері, μ_j – центр класу, b – кількість каналів зображення [15].

Переваги цього методу неконтрольованої класифікації полягають у співвіднесенні кожного пікселя до певного кластера після знаходження їх центрів.

Метод класифікації ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique) – це метод неконтрольованої класифікації, за допомогою якого здійснюють розподіл спектральних ознак множини пікселів на деякі класи без врахування наперед заданої їх кількості, беручи до уваги лише міру спектральної відстані.

В алгоритмі ISODATA використано ту саму цільову функцію спектральної відстані (1). Ітераційний процес починається з призначення наближеної кількості кластерів. Початкові середні значення (центроїди) кластерів розподіляються рівномірно вздовж центрального вектора спектрального простору. Протягом першої ітерації кластеризації простір рівномірно поділяється на області, центром кожної з яких є середні значення кластерів. Для кожного пікселя обчислюється спектральна відстань між пікселем і центроїдом кластера. Пікселі співвідносяться у той кластер, де ця відстань є мінімальною. Після ітерації розраховують реальне значення центроїда кластера за спектральними ознаками. В подальшому виконують ітерації, в процесі яких повторюють кластеризацію з новими значеннями центроїда, розраховують нові межі кластерів й уточнюють центроїд кластера. Ітераційний процес повторюється доти, доки всі пікселі із заданою вірогідністю не потраплять в один з уже визначених кластерів або не закінчиться наперед задана кількість ітерацій, в інших випадках утворюються нові кластери зі своїми центроїдами.

Розглянуті алгоритми неконтрольованої класифікації растрових даних ДДЗ пропонується покласти в основу дослідження природно-заповідних територій Національного природного парку (НПП) «Прип'ять-Стохід».

У 1980-х роках на території Любешівського району Волинської області була створена низка заказників, у 1995 році об'єднаних в регіональний ландшафтний парк «Прип'ять-Стохід», який 13 серпня 2007 року був реорганізований у Національний природний парк «Прип'ять-Стохід». Парк «Прип'ять- Стохід» розкинувся в межах Західного Полісся на території Любешівського району Волинської області вздовж заплави р. Прип'ять від Ратнівського району Волинської області до меж Рівненської області, його північна межа проходить по кордону з республікою Білорусь.

Територія парку уособлює більшість типових рис Українського Полісся, якому притаманна значна залісненість і заболоченість. Вона має розгалужену гідрологічну мережу, що складається з р. Прип'ять з притоками та значної кількості різних за розмірами озер, серед яких найбільшими є оз. Люб'язь та

оз. Біле. Загальна площа території НПП «Прип'ять-Стохід» дорівнює 39315,5 га, зокрема 5961,93 га земель надано парку в постійне користування. У структурі земель парку найбільшу частину становлять болота – 43 %, решту площ: ліси – 35 %, чагарники – 16 %, водний фонд – 6 % [16].

Вихідними матеріалами дослідження слугували дані мультиспектрального знімка Sentinel-2 від 10.08.2018 р., взяті з ресурсу Sentinel Hub (<https://apps.sentinel-hub.com>), код продукту "L1C_T35ULT_A007455_20180810T093029". Щодо отриманих знімків здійснено атмосферну корекцію за методом DOS1 та передискретизацію з роздільною здатністю 10 м в середовищі вільної географічної інформаційної системи з відкритим кодом QGIS в актуальній на момент написання статті версії з довготривалою підтримкою 3.4.3-Madeira (LTR) з використанням розширення Semi-Automatic Classification Plugin [17].

Межа НПП «Прип'ять-Стохід» (рис. 2), отримана з проекту організації природно-заповідної території, слугувала обмеженням для класифікації зображень. Для зменшення обсягу даних ДЗЗ та пришвидшення роботи обчислювальних алгоритмів ГІС QGIS здійснено обрізання растрів мультиспектрального знімка Sentinel-2 по векторній межі парку.

На першому етапі неконтрольована класифікація була виконана за алгоритмом ISODATA з такими вхідними параметрами:

- початкова кількість класів – 10;
- кількість ітерацій – 30;
- максимальне стандартне відхилення – 0.0001;
- мінімальний розмір класу – 10 пікселів.

Дешифрування природних об'єктів виконано за просторовими та спектральними ознаками, а також за структурними властивостями в порівнянні із проектом організації природно-заповідної території НПП «Прип'ять-Стохід», що був розроблений у 2008 році.

За результатами неконтрольованої класифікації за методом ISODATA та дешифрування обрано наступних сім класів, чітко відповідних природним та антропогенним об'єктам. Серед цих класів наявними є відкриті водойми; території, вкриті лісами; території, вкриті молодняком лісу та суцільними кущами; території з природною трав'яною рослинністю; території з болотами та характерною болотною рослинністю; забудована територія та відкритий ґрунт і некласифіковані об'єкти. Графічно результати класифікації представлено на рис. 3.

На основі визначених за алгоритмом ISODATA класів була виконана неконтрольована класифікація за алгоритмом K-Means з такими вхідними параметрами:

- кількість класів – 7;
- кількість ітерацій – 30;
- поріг припинення ітерацій – 0.0001.

Результати роботи за методом K-Means відображено на рис. 4.

Результати проведеного статистичного аналізу розподілу пікселів класифікованих зображень наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Розподіл пікселів класифікованих зображень за класами

Клас	Метод класифікації	
	ISODATA	K-Means
Відкриті водойми	2,08%	2,09%
Території, вкриті лісами	15,51%	16,89%
Території, вкриті молодняком лісу та суцільними кущами	45,10%	44,16%
Території з природною трав'яною рослинністю	25,60%	23,13%
Території з болотами та болотною рослинністю	6,81%	9,76%
Забудована територія та відкритий ґрунт	4,89%	4,90%

Розбіжність розподілу пікселів класифікованих зображень за класами в середньому становить 1.4%.

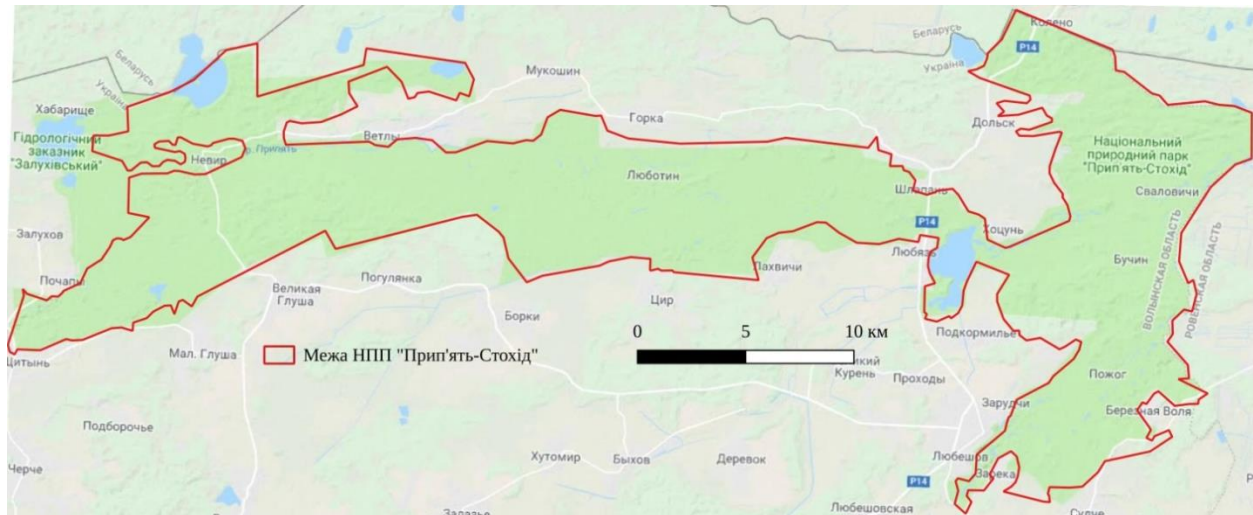


Рис. 2. Досліджувана територія НПП «Прип'ять-Стохід»

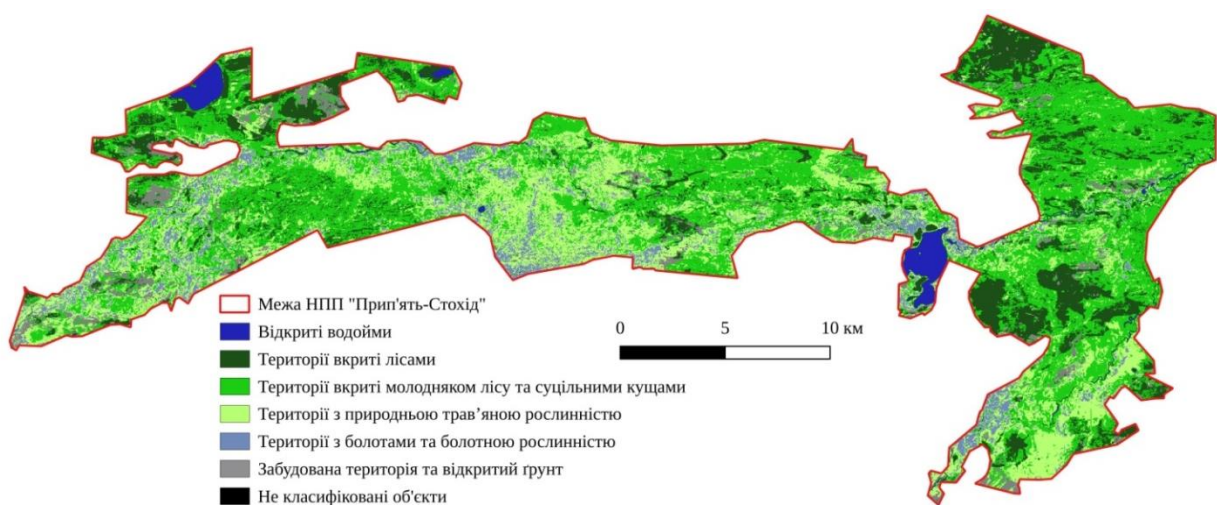


Рис. 3. Результати класифікації території НПП «Прип'ять-Стохід» за алгоритмом ISODATA

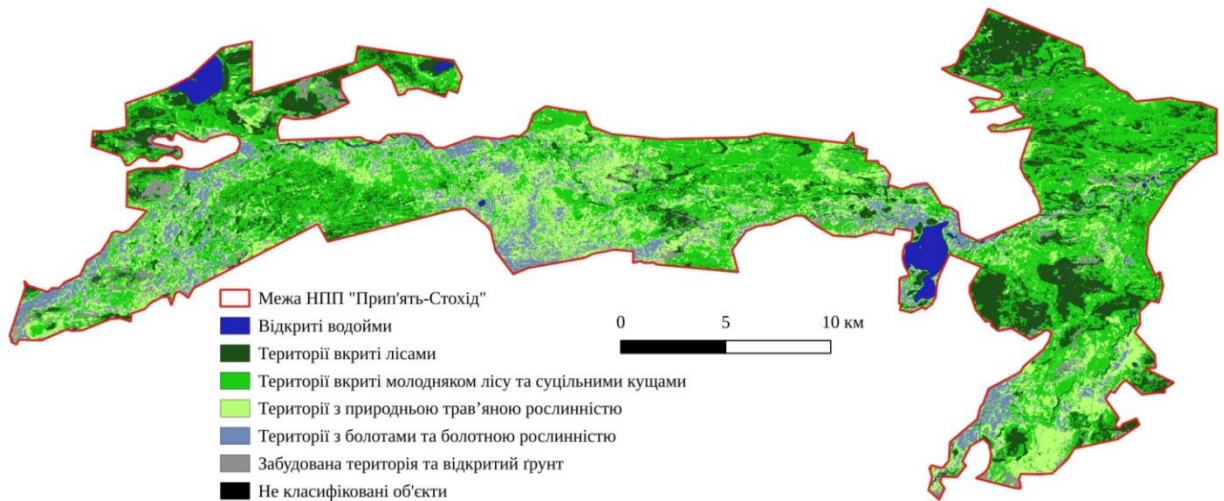


Рис. 4. Результати класифікації території НПП «Прип'ять-Стохід» за алгоритмом K-Means

Здійснивши просторовий порівняльний аналіз отриманих класифікованих зображень та проекту організації природно-заповідної території НПП «Прип'ять-Стохід», можна стверджувати, що для створення й оновлення тематичних карт стану природних об'єктів (рослинності, ґрунтового покриву, антропогенних територій тощо) природно-заповідного фонду методи неконтрольованої класифікації є загалом прийнятними.

Однак для виділення детальних природно-територіальних комплексів необхідно здійснювати контрольовану класифікацію з навчальними вибірками.

Висновки. У роботі опрацьовано мультиспектральний знімок Sentinel-2 для моніторингу природних об'єктів НПП «Прип'ять-Стохід» із використанням некомерційної ГІС QGIS.

За браком завіркової інформації про об'єкти природно-заповідного фонду парку запропоновано здійснювати моніторинг таких об'єктів методами неконтрольованої класифікації з подальшим їх дешифруванням для створення й оновлення тематичних карт про стан і просторову динаміку зміни природних об'єктів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. "Зелений щит" проти радіонуклідів : класифікація рослинного покриву Зони відчуження ЧАЕС за даними багатозонального космічного знімання / В. Лялька, О. Сахацький, З. Шпортюк, О. Сибірцева та ін. // Вісник Національної академії наук України. - 2008. - № 4. - С. 23-28. – [Електронний ресурс] Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2008_4_3.

2. *Багатоспектральні методи дистанційного зондування землі в задачах природокористування: [монографія]* / За ред. В.І. Лялька, М.О. Попова; НАН України, Інститут геологічних наук, Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі.- Київ: Наукова думка, 2006.- 357 с.

3. *Барладін О. В.* Використання геоінформаційних технологій для картографічного забезпечення актуальними даними лісового господарства /

О.В. Барладін, О. Ю. Скляр, В. П. Скавронський. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва / Вип. I (19), 2010. – 2011. – №1. – С. 227–232.

4. *Бурштинська Х. В.* Дослідження методів класифікації лісів з використанням космічних знімків високого розрізнення / Х. В. Бурштинська, Б.В. Поліщук, О. Ю. Ковальчук. // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2013. – №78. – С. 101–110.

5. *Бурштинська Х. В.* Аерокосмічні знімальні системи: навч. посіб. / Х.В. Бурштинська, С.А. Станкевич; Міністерство освіти і науки України, Національний університет «Львівська політехніка». – Львів: Вид-во «Львівської політехніки», 2010. – 288 с.

6. *Дослідження* рослинності на основі сканерних космічних знімків / С.І. Миклуш, С. А. Гаврилюк, О. Г. Часковський, М. М. Король // Науковий вісник НЛТУ України. – 2008. – №18. – С. 7–11.

7. *Foody G. M.* Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions / G. M. Foody, D. S. Boyd, M. E. Cutler. // Remote sensing of environment. – 2003. – №85. – С. 463–474. DOI: 10.1016/S0034-4257(03)00039-7

8. *Contribution of Hyperspectral Applications to Tropical Peatland Ecosystem Monitoring* / [K. Hirose, M. Osaki, T. Takeda та ін.]. // Tropical Peatland Ecosystems. Springer Japan.. – 2016. – С. 421–431.

9. *Immitzer M.* First Experience with Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe / M. Immitzer, F. Vuolo, C. Atzberger. // Remote Sensing. – 2016. – №8. – P. 166.

10. *Moore M. M.* Classification of forest vegetation in North-Central Minnesota using Landsat multispectral scanner and thematic mapper data /M.M. Moore, M.E. Bauer. // Forest Science. – 1990. –№36. – С. 330–342.

11. *Utilizing hyperspectral remote sensing imagery for afforestation planning of partially covered areas* / F.Omruuzun, D. B. Baskurt, H. Daglayan, Y. Y. Cetin. // In SPIE Remote Sensing. – 2015. – №96432. DOI:10.1117/12.2196532

12. *Richards J. A.* Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction / J. A. Richards, J. Xiuping., 2006. – 440 с. DOI 10.1007/3-540-29711-1

13. *ESA Sentinel Online.* [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2>.

14. *ДСТУ 4758:2007* Дистанційне зондування Землі з космосу. Оброблення даних. Терміни та визначення понять [Чинний від 2007.04.11]. Київ: Держспоживстандарт України. 2007. – 21 с.

15. *K-Means and ISODATA Clustering Algorithms for Landcover Classification Using Remote Sensing* / [A. W. Abbas, N. Minallh, N. Ahmad та ін.]. // Sindh University Research Journal - SURJ (Science Series). – 2016. – № 48. – С. 315–318.

16. *Національний природний парк «Прип'ять-Стохід».* [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.pripyat-stohid.com.ua/>.

17. *Congedo L.* Semi-Automatic Classification Plugin Documentation [Електронний ресурс] / Luca Congedo. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1>.

REFERENCES

1. Lialko, V. & Sakhatskyi, O. & Shportiuk, Z. & Sybirtseva, O. et al. (2008). "Zelenyi shchyt" proty radionuklidiv : klasyfikatsiia roslynnoho pokryvu Zony vidchuzhennia ChAES za danymy bahatozonalnoho kosmichnoho znimannia ["Green shield" against radionuclides: classification of vegetation of ChNPP exclusion zone according to multizonal space survey]. *Visnyk Natsionalnoi akademii nauk Ukrainy - Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine*. 4. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2008_4_3 [in Ukrainian].
2. Lialko, V.I. & Popov, M.O. (Eds.). (2006). Bahatospektralni metody dystantsiinoho zonduvannia zemli v zadachakh pryrodokorystuvannia: [monohrafiia]. [Multispectral methods of remote sensing of land in the problems of nature use: [monograph]]. *NAN Ukrainy, Instytut heolohichnykh nauk, Naukovyi tsentr aerokosmichnykh doslidzhen Zemli - National Academy of Sciences of Ukraine, Institute of Geological Sciences, Scientific Center for Aerospace Studies of the Earth*. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
3. Barladin, O.V. & Skliar, O.Yu. & Skavronskyi, V.P. (2011). Vykorystannia heoinformatsiinykh tekhnolohii dlia kartohrafichnoho zabezpechennia aktualnymy danymy lisovoho hospodarstva [The use of geoinformation technologies for mapping the actual data of forestry] *Suchachni dosiahnennia heodezychnoi nauky ta vyrobnytstva - Modern achievements of geodesic science and production*. (19), 2010, 1, 227–232. [in Ukrainian].
4. Burshtynska, Kh.V. & Polishchuk, B.V. & Kovalchuk, O.Yu. (2013). Doslidzhennia metodiv klasyfikatsii lisiv z vykorystanniam kosmichnykh znimkiv vysokoho rozrizznennia [Investigation of methods of classification of forests using space images of high distinction]. *Heodeziia, kartohrafiia i aerofotoznimannia - Geodesy, cartography and aerial photography*, 78, 101–110. [in Ukrainian].
5. Burshtynska, Kh.V. & Stankevych, S.A. (2010). Aerokosmichni znimalni systemy: navchalnyi posibnyk [Aerospace Shooting Systems: Tutorial]. Lviv: Vydavnytstvo «Lvivskoi politekhniki» [in Ukrainian].
6. Myklush, S.I. & Havryliuk, S.A. & Chaskovskyi, O.H. & Korol M. M. (2008). Doslidzhennia roslynnosti na osnovi skanernykh kosmichnykh znimkiv [Investigation of vegetation on the basis of scanner cosmic shots]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy - Scientific herald of NLTU of Ukraine*, 18, 7–11. [in Ukrainian].
7. Giles M. Foody, Doreen S. Boyd, Mark E.J. Cutler. (2003). Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. *Remote Sensing of Environment* (Vol. 85, Issue 4), (pp. 463-474). ISSN 0034-4257. doi: 10.1016/S0034-4257(03)00039-7.
8. Hirose, Kazuyo & Osaki, Mitsuru & Takeda, Tomomi & Kashimura, Osamu & Ohki, Takashi & Segah, Hendrik & Gao, Yan & Evri, Muhammad (2016). Contribution of Hyperspectral Applications to Tropical Peatland Ecosystem Monitoring. doi:10.1007/978-4-431-55681-7_28.
9. Immitzer, Markus & Vuolo, Francesco & Atzberger, Clement (2016). First Experience with Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe. *Remote Sensing*, 8, 166. doi: 10.3390/rs8030166.

10. Moore, Margaret & Bauer, Marvin. (1990). Classification of Forest Vegetation in North-Central Minnesota Using Landsat Multispectral Scanner and Thematic Mapper Data. *Forest Science*, 36, 330-342.

11. Omruuzun, Fatih & Baskurt, Didem & Daglayan, Hazan & Yardimci Cetin, Yasemin. (2015). Utilizing hyperspectral remote sensing imagery for afforestation planning of partially covered areas. 96432N. doi: 10.1117/12.2196532.

12. J. A. Richards, J. Xiuping. (2006). Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg*. doi: 10.1007/3-540-29711-1.

13. ESA Sentinel Online. (n.d.). Retrieved from <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2>.

14. Dystantsiine zonduvannia Zemli z kosmosu. Obroblennia danykh. Terminy ta vyznachennia poniat [Earth remote sensing from outer space. Processing data. Terms and definitions of concepts] (2007). *DSTU 4758:2007 from 11 November 2007*. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy [in Ukrainian].

15. W. Abbas , N . Minallh, N. Ahmad , S.A.R. Abid , M.A.A. Khan (2016). K-Means and ISODATA Clustering Algorithms for Landcover Classification Using Remote Sensing. *Sindh University Research Journal - SURJ (Science Series)*, 48, 315–318.

16. Natsionalnyi pryrodnyi park „Prypiat-Stokhid”. [National Nature Park "Pripyat-Stokhid"] www.pripyat-stohid.com.ua. Retrieved from <http://www.pripyat-stohid.com.ua/> [in Ukrainian]

17. Congedo, Luca. (2016). Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. Release 6.0.1.1. doi:10.13140/RG.2.2.29474.02242/1.

О.В. Мельник, В.У. Волошин, П.В. Манько, М.В. Волошин
КЛАССИФИКАЦИЯ ТЕРРИТОРИИ НПП «ПРИПЯТЬ-СТОХОД»
ПО ДАННЫМ SENTINEL-2

Предложена методика исследования природно-заповедных территорий с использованием ГИС QGIS по данным дистанционного зондирования Sentinel-2, которая апробирована на территорию Национального природного парка «Припять-Стоход». По результатам неконтролируемой классификации по методу ISODATA и дешифрирования избранно семь классов, которые четко соответствуют естественным и антропогенным объектам. На основе определенных по алгоритму ISODATA классов была проведена неконтролируемая классификация по алгоритму K-Means. Расхождение распределения пикселей классифицированных изображений по классам между двумя методами составляет в среднем 1.4%. Данные классификации обоих методов коррелируют с проектом организации природно-заповедной территории «Припять-Стоход», который был разработан в 2008 году.

Ключевые слова: космический снимок, природно-заповедный фонд, природные объекты, классификация изображения, метод ISODATA, метод K-Means.

O. Melnyk, V. Voloshyn, P. Manko, M. Voloshyn
CLASSIFICATION OF LAND COVER FOR NPP "PRIPYAT
STOKHID" ACCORDING TO SENTINEL-2 DATA

The methodology for researching of natural protected territories using GIS QGIS according to remote sensing data by Sentinel-2 on the territory of the National Nature Park «Pripyat-Stokhid» is proposed. Based on the results of the unsupervised classification using the ISODATA method and interpretation were chosen 7 classes that clearly correspond to natural and anthropogenic objects. There are open reservoirs; territories covered with forests; territories covered with young forest and continuous bushes; territories with natural herbaceous vegetation; territories with swamps and characteristic marsh vegetation; built-up territories and open ground; and unclassified objects. On the basis of the classes received by the ISODATA method, an unsupervised classification was performed by the K-Means method. Difference in pixels' distributions of classified images by classes between the two methods is an average of 1.4%. The results of classification by both methods are correlates with the project of National Nature Park «Pripyat-Stokhid» natural protected territories. Due to the lack of reliable information about natural objects, the Using of the proposed methodology, it is possible for any natural protected territories to obtain freely available Sentinel-2 remote sensing data, using free open source GIS software QGIS make analyses it and obtain classification signatures of the main classes natural and anthropogenic objects of the researched territory.

Keywords: *space images, natural protected territories, natural objects, image classification, ISODATA method, K-Means method.*

Надійшла до редакції

07.02.2019

К. О. Бурак, *д-р техн. наук, професор,*
О.В. Гера, *канд. техн. наук, доцент,*
В. М. Ковтун, *асистент,*
Л. І. Дорош, *аспірант*
кафедра геодезії та землеустрою
Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу

ЩОДО ПИТАННЯ ТОЧНОСТІ ВЕКТОРИЗАЦІЇ КОСМІЧНИХ ЗНІМКІВ

У роботі проаналізовано різновиди сучасних кадастрів, які є невід'ємною складовою здійснення державного управління. Розглянуто основні напрями використання космічних зображень для ведення державних земельних кадастрів різного спрямування. Основним завданням дослідження є визначення точності векторизації космічних знімків для оперативного й ефективного покращення цифрової картографії (космоатласи міст, геопортали).

З урахуванням просторового розрізнення знімальної системи КА OrbView-3 та допустимої точності картографування граничний масштаб картографування території може становити 1:10 000.

Аналіз отриманих досліджень дає змогу стверджувати про можливість використання космічних знімків, отриманих з КА OrbView-3 та інших систем з такими самими і кращими характеристиками просторового розрізнення (Ikonos, WorldView-1, QuickBird, GeoEye-1), для потреб ведення державних кадастрів України. На підставі результатів досліджень встановлена середньоквадратична похибка оцифрування будівель і споруд, яка становить $0,4150 \text{ м}^2$, що не перевищує регламентованої в більшості нормативних документів, – 1 м^2 .

Ключові слова: *дистанційне зоднування Землі, точність картографічних матеріалів, космічні знімки, геоінформаційне картографування.*

Вступ. Геоінформаційне картографування, що ґрунтується на використанні космічних знімків, зводиться до створення й оновлення цифрових карт (планів), тобто векторизації растрового зображення та наповнення цих карт геоінформаційною інформацією. Кадастрові роботи ставлять доволі жорсткі вимоги до якості картографічних матеріалів, які є основою функціонування кадастрових систем. До них належать такі: точність нанесення об'єктів на карту (план); зміст картографічного наповнення карт (планів); відображення реального стану території на певний період. Одним з найважливіших критеріїв оцінювання картографічного матеріалу є точність визначення площі земельної ділянки. Очевидно, що шукані площі земельних ділянок повинні бути настільки точними, щоби похибка в їх визначенні істотно не впливала на нормативно-грошову оцінку ділянок.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Матеріали аерокосмічної зйомки використовуються досить давно, проте висока ціна закордонних космічних

знімків великого масштабу та брак аналогічних вітчизняних знімальних систем обмежували використання цих даних. Останніми роками цій темі почали приділяти досить багато уваги. У публікаціях [3; 10; 11] проаналізовано особливості методик опрацювання даних ДЗЗ, а саме: радіометричну та геометричну корекцію, покращення візуальних властивостей космічних знімків і можливостей їх подальшого використання.

У праці відомих науковців А.А. Ляценка, Ю.О. Карпінського, Р.В. Рунець висвітлено питання проблематики картографічного забезпечення кадастрових робіт, створення цифрової топографічної бази даних, яка дасть змогу автоматизовано створювати і наповнювати інформацією кадастри різного призначення, системи навігації та позиціювання [9].

Вдосконалення відчизняної системи ДЗЗ, можливість використання космоматеріалів у ГІС різних рангів і їх призначення висвітлено в роботах [2; 12; 21]. Перспективи подальших досліджень автори пов'язують з оновленням наявних матеріалів і виготовленням високоточних планів і карт територій населених пунктів, окремих промислових об'єктів тощо.

У роботах [23-25] представлено основні результати та висновки дослідження динаміки змін у землекористуванні шляхом комбінованого використання супутникового дистанційного зондування, геоінформаційних систем (ГІС).

За наявності попередніх ГІС територій об'єкта знімання у поєднанні з космічними знімками можна швидко оновлювати карти. Безпосередньо це дає можливість поліпшувати стан цифрової картографії у вигляді електронних порталів, космоатласів тощо [3].

Аналіз сучасного стану нормативних документів [8; 15; 16], свідчить про те, що регламентованими кадастровими роботами в Україні не передбачено використання ДЗЗ, а саме космічних знімків, хоча аерофотознімання як спосіб отримання картографічних матеріалів у них міститься. За своїм змістом ці два способи не мають принципових розбіжностей, оскільки результатом опрацювання в обох випадках є приведення та транспоноване растрове зображення у відповідній проекції, системі координат і висот [8; 15]. Така ситуація могла виникнути через відставання нормативних документів від сучасного стану розвитку технічних засобів.

Ведення кадастрів природних ресурсів регламентується положеннями та інструкціями про ведення обліку водойм, лісів тощо [13; 17-19]. Картографічний матеріал для забезпечення ведення кадастру природних ресурсів повинен відповідати чітким вимогам, які сформульовані в документах [14; 15].

Постановка проблеми. Сучасна технологія оновлення картографічних матеріалів повинна ґрунтуватися на використанні даних ДЗЗ як джерела актуальної й об'єктивної просторової інформації, а також на застосуванні геоінформаційних технологій як потужного засобу для зберігання, опрацювання й аналізу такої інформації [3]. Зважаючи на згадані переваги, використання даних ДЗЗ дає можливість вдосконалювати ведення різних видів кадастрів .

Завданням дослідження є визначення точності векторизації даних ДЗЗ, що дасть можливість обґрунтувати їх оптимальне використання для потреб ведення державного кадастру України.

Виклад основного матеріалу. *Космічні знімки* – збірна назва даних, одержаних за допомогою космічних апаратів в різних діапазонах електромагнітного спектра, що візуалізуються певним алгоритмом. Звичайно, під поняттям космічного знімка розуміють опрацьовані дані дистанційного зондування Землі, візуально представлені у вигляді цифрових зображень.

Цифровим зображенням називають неперервне зображення, що наближається множиною точок і впорядковується у формі матриці, де кожний елемент масиву отримує дискретне значення. Кожний елемент матриці називають елементом зображення, або пікселем (від англ. picture element). Як результат для кожної точки зображення отримують цифрові значення, відповідні яскравості цих точок та значенням кольору в просторі RGB [6].

У кольоровому зображенні, крім інформації про яскравість, міститься також інформація про кольори. Основна відмінність таких зображень від цифрування чорно-білих зображень полягає в тому, що світло, яке відбивається від зображення, розкладається на зелену, синю та червону складові, кожна з яких потім оцифровується окремо. Колір кожної точки зображення після оцифрування записується трьома числами – трійкою RGB, відповідних інтенсивності трьох кольорів.

Для цього в пристроях застосовують різні фільтри, що забезпечують подання на світлочутливі сенсори світла в певних діапазонах довжин хвиль, на які реагують ці сенсори. У сканерах і спрощених телевізійних камерах застосовують ПЗЗ-кристали, на які нанесені такі фільтри безпосередньо [6].

Для того щоби побачити зображення, треба скористатись будь-яким пристроєм виведення, наприклад, монітором або принтером. Такі пристрої самі по собі є растровими: на екрані монітора і на відбитку принтера зображення також складається з кольорових точок. Елементи растрової сітки люмінофора, що формують зображення на моніторі, також називають пікселями [6].

Основною характеристикою растрових пристроїв є їх роздільна здатність (dots per inch – dpi). Вона буквально означає те, скільки пікселів поміщається в одному дюймі зображення, яке ми бачимо на екрані монітора, смартфона, планшета або іншої техніки.

Збільшення просторового розрізнення космічних знімків дає змогу відкривати нові горизонти для ДЗЗ [20; 22]. Швидкими темпами зростає кількість запусків космічних апаратів (КА) зі знімальними системами з просторовим розрізненням 1 м і краще [4; 5]. Чим вище просторове розрізнення, то більшу кількість пікселів містить зображення, а отже, тим менший розмір окремого пікселя. В результаті зображення з більш високим просторовим розрізненням характеризується більшою кількістю деталей.

Для знімальних систем просторове розрізнення (розмір пікселя на землі) є величиною сталою, оскільки висоту польоту під час космознімання можна вважати постійною і незмінною величиною. Це унеможливорює маніпулювання масштабом знімання. Окрім того, користувачам не надається повна інформація щодо елементів орієнтування космічного знімка. Усі ці зауваження потребують іншого підходу до визначення можливостей космічних знімків для виконання кадастрових робіт.

Для визначення можливої точності визначення площ за матеріалами ДЗЗ промислових споруд і проммайданчиків нами виконано дослідження, яке полягало в порівнянні величин площ об'єктів, визначених за даними ДЗЗ і за допомогою наземних методів. Як тестовий проммайданчик використано проммайданчик КС «Бібрка».

У процесі виконання інженерно-геодезичних робіт для інвентаризації КС «Бібрка» було виконане топографічне знімання території проммайданчика в межах огорожі у масштабі 1:500 з перерізом рельєфу 0,5 м. За цими даними визначили геометричні розміри будівель і споруд, значення яких в подальшому були використані для визначення точності оцифрування космічного знімка.

Топографічне знімання виконувалось методом тахеометрії із застосуванням повіреного електронного тахеометра Nikon NPR-352 №010355 з точністю лінійних вимірів з відбивачем 2 мм + 2 мм / км та кутових вимірювань 2".

На рис. 1 представлено споруди, істинні значення площ яких, одержані з інструментальних спостережень, наведено у табл. 1.



Рис. 1. Фрагмент космічного зображення з об'єктами дослідження

Таблиця 1

Дійсні значення площ відповідних споруд

№ споруди	Дійсні значення площі, м ²
1	344,8208
2	2160,98
3	241,2914
4	149,4714
5	577,6671
6	704,0921

Закінчення табл. 1

7	597,2493
8	603,4694
9	2179,6852
10	344,2345
11	71,4214

Представлені в табл. 1 значення площ в подальшому вважались безпомилковими.

Ті самі площі були визначені за знімком, отриманим з космічного апарата КА OrbView-3. Основні характеристики знімальної апаратури КА OrbView-3 наведено в табл. 2 та 3.

Таблиця 2

Технічні характеристики КА OrbView-3

Країна	США
Розробник	Orbital Science Corporation
Оператор	GeoEye
Ракета-носій (РН)	Pegasus XL
Дата запуску	26.06.2003
Орбіта: - висота, км - спосіб, град	Сонячно синхронна ранкова 470 97.2
Платформа: кути відхилення, град	STEP 45
Термін активного існування, роки	5
Період повторного спостереження, доба	3
Потужність, Вт	625
Розмір КА, м × м	1.9 × 1.2
Маса КА, кг	360

Таблиця 3

Технічні характеристики знімальної апаратури КА OrbView-3

Режим знімання	Панхроматичний	Мультиспектральний
Спектральний діапазон, мкм	0,445-0,90	0,45-0,52 (синій) 0,53-0,60 (зелений) 0,625-0,695 (червоний) 0,76-0,90 (ближній ІЧ)
Просторове розрізнення (в надирі), м	1	4
Максимальне відхилення від надира, град	50	
Радіометричне дозвіл, біт на пік сель	11	
Ширина смуги знімання, км	8	
Періодичність знімання, доба	1-5 (залежно від широти ділянки знімання)	
Швидкість передавання даних на наземний сегмент, Мбіт / с	150	

Оцифрування відповідних споруд виконано у програмному комплексі MapInfo. Одна з переваг цієї програми – ортотрасформування завантаженого зображення, яке не потребує додаткового змаштабування.

Для встановлення точності визначення площ будівель і споруд шляхом оцифрування космічного знімка, визначення площі кожної будівлі виконано 21 раз. Середньоквадратична похибка оцифрування була обчислена за допомогою формули Беселля [1]:

$$m_F = \sqrt{\frac{\sum \Delta S_i^2}{n-1}}, \quad (1)$$

$$\Delta S_i^2 = S_i - S_{\text{сер}}, \quad (2)$$

де ΔS_i^2 – різниця між вимірним (S_i) і середнім значенням ($S_{\text{сер}}$) значенням; n – кількість вимірів (в цьому випадку – 21).

У табл. 4 представлено результати розрахунку СКП для споруди №2, похибка якої є найбільшою.

Таблиця 4

Розрахунок СКП визначення площі споруди №2

Кількість вимірів	$S_i, \text{ м}^2$	$S_{\text{сер}}, \text{ м}^2$	$\Delta S, \text{ м}^2$	$\Delta S^2, \text{ м}^2$	Вага, P	$P \cdot \Delta S^2$	$m_F, \text{ м}^2$
1	2153	2160,1429	-7,1429	51,0204	0,0475	2,42151	0,8707
2	2157		-3,1429	9,8776	0,0475	0,469675	
3	2167		6,8571	47,0204	0,0478	2,246175	
4	2156		-4,1429	17,1633	0,0475	0,815731	
5	2159		-1,1429	1,3061	0,0476	0,062163	
6	2164		3,8571	14,8776	0,0477	0,70972	
7	2158		-2,1429	4,5918	0,0476	0,218442	
8	2161		0,8571	0,7347	0,0476	0,034999	
9	2160		-0,1429	0,0204	0,0476	0,000972	
10	2163		2,8571	8,1633	0,0477	0,389241	
11	2165		4,8571	23,5918	0,0477	1,125947	
12	2162		1,8571	3,4490	0,0477	0,164378	
13	2156		-4,1429	17,1633	0,0475	0,815731	
14	2153		-7,1429	51,0204	0,0475	2,42151	
15	2166		5,8571	34,3061	0,0477	1,638054	
16	2159		-1,1429	1,3061	0,0476	0,062163	
17	2158		-2,1429	4,5918	0,0476	0,218442	
18	2163		2,8571	8,1633	0,0477	0,389241	
19	2158		-2,1429	4,5918	0,0476	0,218442	
20	2164		3,8571	14,8776	0,0477	0,70972	
21	2161		0,8571	0,7347	0,0476	0,034999	

У табл. 5 наведено узагальнені результати розрахунку СКП визначення площі для всіх споруд.

Таблиця 5

Зведена таблиця отриманих СКП визначення площ споруд

№ споруди	Середнє значення площі, м ²	m_F , м ²
1	344,8238	0,4026
2	2160,1429	0,8708
3	241,7762	0,4112
4	149,5381	0,0923
5	575,3810	0,5976
6	703,5857	0,7751
7	597,5381	0,8283
8	602,5190	0,7546
9	2177,6190	0,5542
10	343,1048	0,3799
11	71,1914	0,2801

Для визначення СКП площ використано формулу Гаусса [1]:

$$m = \sqrt{\sum \frac{\Delta_i^2}{n}}; \quad (3)$$

$$\Delta_i^2 = S_{\text{сер}} - S, \quad (4)$$

де Δ_i^2 – різниця між вимірним середнім ($S_{\text{сер}}$) та істинним (S) значенням; n – кількість вимірів.

Результати розрахунку середньоквадратичних похибок за формулами (3) та (4) наведено в табл.6.

Таблиця 6

Зведений розрахунок СКП визначення площі

№ споруди	S , м ²	$S_{\text{сер}}$, м ²	Вага, P	ΔS , м ²	ΔS^2 , м ²	$P \cdot \Delta S^2$	m , м ²
1	344,8208	344,8238	0,0433	0,0030	0,0000	0,0000	0,4150
2	2160,98	2160,1429	0,2711	-0,8371	0,7008	0,1900	
3	241,2914	241,7762	0,0303	0,4848	0,2350	0,0071	
4	149,4714	149,5381	0,0188	0,0667	0,0044	0,0001	
5	577,6671	575,3810	0,0722	-2,2861	5,2265	0,3774	
6	704,0921	703,5857	0,0883	-0,5064	0,2564	0,0226	
7	597,2493	597,5381	0,0750	0,2888	0,0834	0,0063	
8	603,4694	602,5190	0,0756	-0,9504	0,9032	0,0683	
9	2179,685	2177,6190	0,2733	-2,0662	4,2690	1,1668	
10	344,2345	343,1048	0,0431	-1,1297	1,2763	0,0550	
11	71,4214	71,1914	0,0089	-0,2300	0,0529	0,0005	

Положення про земельно-кадастрові роботи з інвентаризації земель населених пунктів [16] регламентує облікову одиницю площі в містах загальнодержавного й обласного значення, рівну 1 м²; для садово-городніх товариств – 2,5 м²; у містах районного підпорядкування і селищах – 15 м²; у

селах – 100 м^2 . Отримана нами середньоквадратична похибка визначення площі за умови використання космічного зображення може забезпечити облікову одиницю площі 1 м^2 згідно з положенням [16]. Звідси випливає можливість застосування даних ДЗЗ для проведення земельно-кадастрової інвентаризації земель.

У положенні про облік лісового кадастру [19] дані, які характеризують площу, наводяться з точністю до 0,1 га. Отримана нами точність векторизації космічного знімка також забезпечує відповідну точність представлення одиниці площі лісового покриву, що є підставою для підтвердження можливості застосування даних ДЗЗ для ведення кадастру природних ресурсів.

Висновки. За результатами досліджень був виконаний аналіз можливості застосування космічних знімків з високим просторовим розрізненням для ведення різних видів кадастру України. З'ясовано, зокрема, таке:

1. З урахуванням просторового розрізнення знімальної системи КА OrbView-3 та допустимої точності картографування [14; 15], граничний масштаб картографування території може становити 1:10 000 [7]. Точність нанесення точок (контурів) на карту не повинна перевищувати 0,1 мм в масштабі карти, у розглянутому випадку вона становить 1 м.

2. На підставі аналізу отриманих результатів дослідження можна стверджувати можливість використання космічних знімків, отриманих з КА OrbView-3 та інших систем з такими самими і кращими характеристиками, просторове розрізнення яких становить $< 1 \text{ м}$ (Ikonos, WorldView-1, QuickBird, GeoEye-1), для забезпечення кадастрової системи України. Підтвердженням цього є отримана точність визначення площ – $0,4150 \text{ м}^2$, яка не перевищує регламентованої точності під час інвентаризації – 1 м^2 , веденні обліку лісового покриву – 0,1 га.

3. Використання космічних зображень дає змогу з мінімальними затратами часу та коштів створювати й оновлювати плани земельних угідь, плани лісових ділянок, лісовпорядні карти, тематичні лісові карти та інше, знаходити нафтогазоперспективні площі та площі земель відпрацьованих родовищ загальнопоширених корисних копалин, забезпечуючи відповідну точність створення картографічного матеріалу.

4. Використання космічних знімків дає можливість оперативно створювати актуальну растрову картографічну основу для геоінформаційної системи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Баран П.І. Топографія та інженерна геодезія: підруч. для студ. геодез. та негеодез. спец. ВНЗ / П.І. Баран, М.П. Марущак. – Київ: Знання України, 2015. – 463 с.

2. Барладін О.В. Методичні аспекти інтегрування космоснімків в ГІС-Києва // IX Міжнародний науково-технічний симпозіум: Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища — GPS- і GIS-технологій. — Алушта: Львівське АГП, 2004. — С. 72–74.

3. Барладін О.В. Використання космічних знімків високої просторової розрізненості для створення фотоатласу міста (на прикладі Києва) / О.В. Барладін,

П.Д. Ярошук // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. — 2006. — 19 (58). — № 2. — С. 3–10. — (Серія «Географія»).

4. *Бурштинська Х.В.* Аерокосмічні знімальні системи: навч. посіб. / Х.В. Бурштинська, С.А. Станкевич // Львів: Вид-во ун-ту «Львівська політехніка», 2010. — 292 с.

5. *Гершензон В.Е.* Рынок космических геоданных в 2010 году / В.Е. Гершензон, А.А. Кучейко // Пространственные данные. — 2010. — № 2. — С. 10-17.

6. *Дорожинський О. Л.* Фотограмметрія: підручник / О.Л. Дорожинський, Р. Тукай// Львів: Вид-во ун-ту «Львівська політехніка», 2008. — 332 с.

7. *Дорожинський О.* Про деякі вимоги кадастрових робіт до аерокосмічного знімання /О. Дорожинський, С. Почкін // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, — 2009. — Вип. I (17). — С. 209-216.

8. *Інструкція* по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02, Москва, ЦНИИГАиК, 2002. — 101 с.

9. *Карпінський Ю.О.* Еталонна модель бази топографічних даних / Ю.О. Карпінський, А. А. Лященко, Р. В. Рунець // Вісник геодезії та картографії. - 2010. - № 2. - С. 28-36.

10. *Косарев М. В.* Аналіз матеріалів космічного знімання для використання в задачах геоінформаційного картографування / М. В. Косарев, С. О. Ясенев // Вісник астрономічної школи. — 2013. — Том 9. — №2. —С. 169-175.

11. *Лялько В.И.* Состояние и перспективы развития дистанционных методов исследования Земли в Украине / В.И. Лялько, М.А. Попов, В.П. Зубко, А.Д. Рябоконеко // Ученые записки ТНУ, 2004. — 17 (56), № 2. — С. 64–71. — (Серія «Географія»).

12. *Мышляев В.А.* Изобразительные свойства космических снимков и их влияние на масштаб создаваемых ортофотопланов / В.А. Мышляев, Г.Б. Воронов, Г.А. Шабано // Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології: збірник матеріалів XVI Міжнародного науково-технічного симпозиуму (12–17 вересня 2011 р., м. Алушта, АР Крим). — 2011. — С. 50-54.

13. *Постанова* Кабінету Міністрів України №75 від 31.01.95 р. «Облік родовищ корисних копалин». — Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/75-95-%D0%BF>. — Назва з екрана.

14. *Основні* положення створення топографічних планів масштабів 1:5000, 1:2000, 1:1000 та 1:500. Головне управління геодезії, картографії та кадастру України Наказ №156 від 24.01.1994 р. — Режим доступу: <http://www.geoguide.com.ua/basisdoc/basisdoc.php?part=tgo&art=3101>. — Назва з екрана.

15. *Основні* положення створення та оновлення топографічних карт масштабів від 1:10000 до 1:1000000. Головне управління геодезії, картографії та кадастру України Наказ №3 від 31.12.1999 р. — Режим доступу: <http://www.geoguide.com.ua/basisdoc/basisdoc.php?part=tgo&art=3201>. — Назва з екрана.

16. *Положення* по земельно-кадастровій інвентаризації земель населених пунктів. – Київ, 1997. – 14 с.
17. *Постанова* Кабінету Міністрів України від 8.04.96 р. №413 «Порядок ведення державного водного кадастру». – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/413-96-%D0%BF>. – Назва з екрана.
18. *Постанова* Кабінету Міністрів України від 27.09.95 р. № 767 «Порядок ведення державного обліку лісів і державного лісового кадастру» – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/767-95-%D0%BF>. – Назва з екрана.
19. *Наказ* про затвердження Інструкції про порядок ведення державного лісового кадастру і первинного обліку лісів від 15.11.95 р. № 134 – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/767-95-%D0%BF>. – Назва з екрана.
20. *Соукап Т.* Технологія та класифікація елементів земних покриттів за даними дистанційного зондування з космосу / Т. Соукап, Є. І. Бушуєв, М. О. Попов, О. Г. Тараріко // Вісник аграрної науки. – 2008. – № 8. – С. 20-22.
21. *Чандра А.М.* Дистанционное зондирование Земли и географические информационные системы / А.М. Чандра, С.К. Гош. - М.: Техносфера, 2008.-312 с.
22. *Чорний С.Г.* До питання визначення вмісту гумусу в ґрунтах дистанційними методами / С. Г. Чорний, И. М. Гашпоренко // Вісник аграрної науки Причорномор'я. – 2009. – Вип. 2(49). – С. 163-167.
23. *Qihao Weng* Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling // *Journal of Environmental Management*, Volume 64, Issue 3, March 2002, Pages 273-284.
24. *E. Muinonen* and T. Tokola. 1990. An application of remote sensing for communal forest inventory. In: *The Usability of Remote Sensing for Forest Inventory and Planning*. SNS/IUFRO workshop, Department of Forest Resource Management and Geomatics, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå, Sweden, pp. 35–42.
25. *Francisco Javier Gallegoa* Efficiency assessment of using satellite data for crop area estimation in Ukraine / Francisco Javier Gallegoa, Nataliia Kussul, SergiiSkakun, Oleksii Kravchenkob, Andrii Shelestov, Olga Kussuld // *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. Volume 29, June 2014, pp. 22-30.

REFERENCES

1. Baran P.I., & Marushchak M.P. (2015). *Топографія та інженерна геодезія [Topography and engineering geodesy]*. Kyiv: Znannia Ukrainy [in Ukrainian].
2. Barladin O.V. (2004). *Metodychni aspekty intehruvannia kosmoznimkiv v HIS-Kyieva [Methodical aspects of the integration of cosmic mines in GIS-Kyiv]*. IX *Mizhnarodnyi naukovy-tekhnichniy sympozium: Heoinformatsiyni monitorynh navkolyshnoho seredovyshcha –GPS- i GIS-tekhnolohii - IX International scientific and technical symposium: Geoinformation monitoring of the environment - GPS and GIS-technologies*. (pp. 72–74). Alushta: Lvivske AHP [in Ukrainian].
3. Barladin O.V. & Yaroshuk P.D. (2006). *Vykorystannya prostorovykh izolyatoriv dlya vysokoho prostorovoho dozvolu dlia stvorennia fotoelektrychnoho mista (napryklad, Kyiv) [Use of spatial isolators for high spatial resolution to create a photoelectric city (for example, Kyiv)]* – *Vcheni zapysky Tavriyskoho natsionalnoho*

universytetu im. V.I.Vernadskoho - Scientists note Taurida National University named after VI Vernadsky, 19 (58), 2, 3-10. [in Ukrainian].

4. Burshtynska KH.V. & Stankevych S.A. (2010). *Aerokosmichni znimalni systemy [Aerospace digital systems]*. Lviv: Vyd-vo «Lvivskoyi politekhniki» [in Ukrainian].

5. Gershenzon V.Ye. & Kucheyko A.A. (2010). Rynok kosmicheskikh geodannykh v 2010 godu [Space Geodata Market in 2010] – *Prostranstvennyye dannyye*, 2 [in Ukrainian].

6. Dorozhynskiy O. & Tukay R. (2008). *Fotogrammetriya [Photogrammetry]*. Lviv: Vyd-vo "Lvivska politekhnika" [in Ukrainian].

7. Dorozhynskiy O. & Pochkin S. (2009). Pro deyaki vymohy kadastrykh robot do aerokosmichnoho znimannya [On some requirements of cadastral works for aerospace removal] – *Cuchasni dosyahnennya heodezychnoyi nauky ta vyrobnytstva - Modern achievements in geodetic science and production*, issue I (17), 209-216 [in Ukrainian].

8. Instruktsiya po fotogrammetricheskim robotam pri sozdanii pri sozdanii tsifrovyykh topograficheskikh kart i planov. [Instructions for photogrammetric work when creating digital topographic maps and plans]. (2002). *GKINP (GNTA)-02-036-02*, Moskva, TSNIIGAiK [in Russian].

9. Karpinskyi YU. O., Lyashchenko A. A. & Runets R. V. (2010). Etalonna model bazy topografichnykh danykh [Standard model of topographic data base] – *Visnyk heodeziyi ta kartohrafiyi - Bulletin of geodesy and cartography*, 2, 28-36 [in Ukrainian].

10. Kosariev M. V. & Yasenev S. O. (2013). Analiz materialiv kosmichnoho znimannya dlya vykorystannya v zadachakh heoinformatsiynoho kartohrafuvannya [Analysis of Cosmic Removal Materials for Use in Geoinformation Mapping Problems] – *Visnyk astronomichnoyi shkoly - Bulletin of the Astronomical School*, Vol. 9, №2, 169-175 [in Ukrainian].

11. Lyalko V.I., Popov M.A., Zubko V.P. & Ryabokononko A.D. (2004). Sostoyaniye i perspektivy razvitiya distantsionnykh metodov issledovaniya Zemli v Ukraine [The state and prospects of development of Earth remote sensing methods in Ukraine] – *Uchenyye zapiski TNU - Scientists note TNU*, 17 (56), № 2, 64–71 [in Ukrainian].

12. Myshlyayev V.A., Voronov G.B. & Shabano G.A. (2011). Izobrazitelnyye svoystva kosmicheskikh snimkov i ikh vliyaniye na masshtab sozdavayemykh ortofotoplanov [Graphic properties of satellite images and their influence on the scale of orthophotomaps being created]. *Heoinformatsiynyy monitorynh navkolyshnoho seredovyscha: GPS i GIS-tekhnohohiyi: Zbirnyk materialiv XVI Mizhnarodnoho naukovo-tekhnichnoho sympoziumu - The collection of materials XVI International Scientific and Technical Symposium*, (pp. 50-54), Alushta, AR Krym [in Russian].

13. *Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny №75 vid 31.01.95* “Oblik rodovyschch korysnykh kopalyn” [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine №75 from 31.01.95 “Records of mineral deposits”]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/75-95-%D0%BF>. [in Ukrainian].

14. Osnovni polozhennya stvorenniya topografichnykh planiv masshtabiv 1:5000, 1:2000, 1:1000 ta 1:500 (1994). [The main provisions of the creation of topographic plans of scale 1: 5000, 1: 2000, 1: 1000 and 1: 500]. Retrieved from <http://www.geoguide.com.ua/basisdoc/basisdoc.php?part=tgo&art=3101> [in Ukrainian].

15. Osnovni polozhennya stvorenniya ta onovlennya topografichnykh kart masshtabiv vid 1:10000 do 1:1000000 (1999). [Basic provisions for creating and updating topographic maps of scale from 1: 10000 to 1: 1000000]. Retrieved from <http://www.geoguide.com.ua/basisdoc/basisdoc.php?part=tgo&art=3201>. [in Ukrainian].

16. *Polozhennya po zemelno-kadaastroviy inventaryzatsiyi zemel naselenykh punktiv.* [Provisions on land cadastral inventory of settlements.] (1997). Kyiv [in Ukrainian].

17. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny №413 vid 08.04.96 “Poriadok vedennya derzhavnoho vodnoho kadastru”. [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine №413 from 08.04.96 “Procedure for conducting state water cadastre”]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/413-96-%D0%BF> [in Ukrainian].

18. Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny № 767 vid 27.09.95 “Poryadok vedennya derzhavnoho obliku lisiv i derzhavnoho lisovoho kadastru” [Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine №767 from 27.09.95 “Procedure for keeping state records of forests and state forest cadastre”]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/767-95-%D0%BF> [in Ukrainian].

19. Nakaz pro zatverdzhennia Instruksii pro poriadok vedennia derzhavnoho lisovoho kadastru i pervynnoho obliku lisiv № 134 vid 15.11.95 [Order on approval of the Instruction on the procedure for conducting state forest inventory and primary forest registration № 134 from 15.11.95]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/767-95-%D0%BF> [in Ukrainian].

20. Soukap T., Bushuyev YE. I., Popov M. O. & Tarariko O. H. (2008). Tekhnolohiya ta klasyfikatsiya elementiv zemnykh pokryttiv za danymy dystantsiynoho zonduvannya z kosmosu [Technology and classification of elements of terrestrial coatings based on data from remote sensing from outer space] – *Visnyk ahrarnoyi nauky - Bulletin of Agrarian Science*, 8, 20-22 [in Ukrainian].

21. Chandra A.M. & Gosh S.K. (2008). *Distantsonnoye zondirovaniye Zemli i geograficheskiye informatsionnyye sistemy.* [Earth remote sensing and geographic information systems]. Moscow: Tekhnosfera, [in Russian].

22. Chornyy S. H. & Hashporenko Y. M. (2009). Do pytannya vyznachennya vmistu humusu v gruntakh dystantsiynymy metodamy [To the question of determining the content of humus in soils by remote methods] – *Visnyk ahrarnoyi nauky Prychornomorya - Bulletin of agrarian science of the Black Sea region*, issue 2 (49), 163-167 [in Ukrainian].

23. Qihao Weng (2002). Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. *Journal of Environmental Management* (Vol. 64, Issue 3), (pp. 273-284).

24. E. Muinonen and T. Tokola. (1990). An application of remote sensing for communal forest inventory. In: *The Usability of Remote Sensing for Forest Inventory*

and Planning. SNS/IUFRO workshop, Department of Forest Resource Management and Geomatics, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå, Sweden, pp. 35–42.

25. Francisco Javier Gallego, Nataliia Kussul, Sergii Skakun, Oleksii Kravchenko, Andrii Shelestov, Olga Kussul (2014). Efficiency assessment of using satellite data for crop area estimation in Ukraine. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (Vol. 29), (pp. 22-30).

К.О. Бурак, О.В. Гера, В.М. Ковтун, Л.И. Дорош К ВОПРОСУ ТОЧНОСТИ ВЕКТОРИЗАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

В работе проанализированы разновидности современных кадастров, которые являются неотъемлемой составляющей осуществления государственного управления. Основной задачей исследования является определение точности векторизации космических снимков для оперативного и эффективного улучшения цифровой картографии (космоатласы городов, геопортал). В статье обосновывается возможность использования данных ДЗЗ для создания и обновления карт при обеспечении потребностей ведения государственного кадастра Украины. На основе выполненных исследований установлена среднеквадратичная погрешность оцифровки зданий и сооружений, которая составляет $0,4150 \text{ м}^2$, что не превышает регламентированной в большинстве нормативных документов – 1 м^2 .

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, точность картографических материалов, космические снимки, геоинформационное картографирование.

К. Burak, O. Gera, V. Kovtun, L. Dorosh ON THE QUESTION OF ACCURACY OF SATELLITE IMAGERY VECTORIZATION

The paper analyzes the varieties of modern cadastres which are an integral part of the implementation of public administration. The main directions of the use of satellite imagery for maintenance of state land cadastres of different realms have been considered. The main objective of this study is to determine the accuracy of satellite imagery vectorization in order to enable the prompt and effective improvement of digital cartography (satellite atlases of cities, geoportals). Taking into account the spatial resolution of the OrbView-3 satellite camera system and available mapping accuracy, the maximum scale of the area mapping can be 1:10 000.

The analysis of the results obtained suggests the possibility of using satellite imagery obtained from the OrbView-3 satellite and other systems with similar and better spatial resolutions of $<1 \text{ m}$ (such as Icons, WorldView-1, QuickBird, GeoEye-1), to meet the needs of state cadastres of Ukraine. The conducted research has shown that the mean square error of buildings and structures digitization is 0.4150 m^2 , which does not exceed 1 m^2 as spelled out by most normative documents.

Key words: Earth Remote Sensing Data (ERS), accuracy of maps, satellite imagery, geoinformational cartography.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Вимоги до оформлення матеріалів, які подаються до науково-технічного збірника «Інженерна геодезія»

У науково-технічному збірнику «Інженерна геодезія» публікуються статті, які становлять науковий і практичний інтерес.

Статті подаються українською, російською або англійською мовами, підписані кожним з авторів.

Відповідно до постанови ВАК України від 15.01.2003 №7-05/1 **наукові статті мають містити такі елементи:** постановку проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання певної проблеми і на які спирається автор; виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, висвітлених у статті; формулювання мети статті: виклад основного матеріалу дослідження з докладним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки за результатами дослідження і перспективи подальших розвідок у цьому напрямі.

До статті додаються: відомості про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, звання, місце роботи, посада, службова адреса, адреса електронної пошти та контактні телефони).

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

- До розгляду приймають статті, надруковані в одному примірнику на аркушах паперу формату А4 (текст, таблиці, бібліографію друкувати так: поля внизу, ліворуч та праворуч, – 25 мм, вгорі – 20 мм, переплет – 10 мм; інтервал «Множитель» 1,15; кегль 12; розмір шрифту анотації – 12; шрифт Times New Roman). Обов'язково слід подати електронну копію статті у форматі Microsoft Word (*.docx).
- Рекомендується, щоб площа, зайнята рисунками, становила 20-25% загального обсягу статті. Всі рисунки слід подавати чорним кольором та обов'язково з підписами.
- На першій сторінці статті у лівому верхньому куті ставиться УДК ..., а праворуч, рядком нижче, вказують ініціали та прізвище автора (грубим шрифтом) разом з інформацією про автора (науковий ступінь, звання, місце роботи, посада), нижче по центру – назва статті грубими великими буквами, потім анотація (мовою статті) курсивом, далі сам текст.
- Обсяг **анотації** українською та російською мовами становить 50 – 100 слів, англійською – 150 – 200 слів. Після кожної анотації наводять ключові слова у називному відмінку мовою анотації через кому (не менше трьох слів кожною мовою).
- Текст статті має містити розділи із заголовками: **«Вступ»**, **«Аналіз досліджень і публікацій»**, **«Постановка завдання»**, **«Основна частина»**, **«Висновки»**, **«Список літератури»**.
- Список літератури слід виділити підзаголовком **«Список літератури»** та оформити згідно з міждержавним стандартом ДСТУ ГОСТ 7.1:2006.
- Окремим блоком слід навести всі бібліографічні посилання (**References**) англійською мовою з транслітерацією оригінальних назв у романському алфавіті (латиницею). Транслітерація, залежно від мови оригіналу джерела, виконується відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 27 січня 2010 року № 55 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею» (для української мови) або вимогам BGN/PCGN (для російської мови). Для оформлення списку літератури англійською мовою слід застосовувати стиль APA (www.apastyle.org/).
- Після списку літератури до статті додають двома мовами **анотацію українською (російською)** та **анотацію (Abstract)** англійською мовою (розширену, структуровану за текстом статті). Кожна анотація супроводжується назвою статті та прізвищами авторів мовою анотації.
- Заповнення останньої сторінки повинно бути не менш як 80%.

Наукове видання

ІНЖЕНЕРНА ГЕОДЕЗІЯ

НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЗБІРНИК

Випуск 66

Редагування та коректура *Г.В. Кобриної*

Комп'ютерне верстання *В.С. Стрілець*

Дизайн обкладинки: *В.С. Стрілець*
Д.В. Горковчук

Підписано до друку 31.05.2019. Формат 60 × 84^{1/16}
Ум. друк. арк. 15,34. Обл.-вид. арк. 16,5.
Тираж 200 прим. Зам. № С-5322.

Видавець Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680
E-mail: red-isdat@ukr.net, тел. (044)241-54-22, 241-54-87

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
Видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.
Віддруковано у ПП «Скай Солюшенс»
вул. Багговутівська, 36 кв. 46, Київ, Україна, 04107

Свідоцтво про державну реєстрацію юридичної особи
Серія А01 № 624904

ДЛЯ ПОДАТОК

