

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.9.279-290

УДК 528.48

к.п.н., доцент **Рожі І.Г.**,

inna.rozhi.93@gmail.com, ORCID: 0000-0002-7950-525X,

Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини,

к.е.н., доцент **Удовенко І.О.**,

irinaudovenko8@gmail.com, ORCID: 0000-0001-5971-8365

Уманський національний університет садівництва,

к.т.н., доцент **Дорожко Є.В.**,

evgeniy.dorozhko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2894-2131,

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ВИКОРИСТАННЯ ГЕОДЕЗИЧНИХ ДАНИХ У РОЗВИТКУ ВІРТУАЛЬНОЇ ТА ПОПЕРЕДНЬОЇ РЕАЛЬНОСТІ ДЛЯ НАВЧАННЯ ТА СИМУЛЯЦІЙ

Розглянуто визначення геодезичних даних комплексних планів просторового становища та геометричних характеристик з використанням геодезичних методів. Обґрунтовано впровадження в галузь різних інноваційних функціонально – орієнтованих геоінформаційних технологій, які в сукупності із сучасними цифровими технологіями VR/AR дозволять візуалізувати інформацію про місцевість досить детально та інтуїтивно зрозумілим способом, людям, які оцінюють місцевість. Виконано оновлення інформаційної бази геодезичної складової розробки комплексних планів для навчання та симуляції.

Ключові слова: геоінформаційні технології; цифрові технології VR/AR; комп'ютерні моделі; геодезія

Метою статті є розвиток та дослідження віртуальної та попередньої реальності системи визначення геодезичних даних комплексних планів просторового становища та геометричних характеристик з використанням геодезичних методів. Поставлені в роботі задачі вирішуються аналізом бази супутникових геодезичних та інерційних систем вимірів, для застосування в інформативних та навчальних цілях.

Методика. Застосування віртуальних та супутникових технологій, які дозволяють визначати просторове положення в автоматичному режимі (зйомка в русі) для навчання та симуляцій, що є пріоритетним напрямком для вирішення завдань підвищення безпеки та ефективності геодезичної роботи в повному обсязі відповідно до стратегічного напрямку науково-технічного розвитку.

Результати. Геодезичні технології сьогодні дозволяють вирішувати життєво важливі для держави завдання, мають високий потенціал для розвитку економіки та обороноздатності держави, тим самим є основою для цифрової трансформації різних галузей. Позитивні ефекти від їх системного застосування складно переоцінити. Внаслідок комплексного розвитку сфера геоінформаційних технологій оптимізується взаєморозташуванням антропогенних об'єктів, раціоналізується поведінка учасників соціуму та економіки на різних рівнях (від однієї людини до корпорацій, національних армій), підвищується якість інфраструктури; результативність процесів.

Наукова новизна пов'язана з реалізацією в нашій країні Державної програми «Цифровізації», у багатьох галузях економіки важливим складником є інформація про місцевість, у зв'язку з чим, спостерігається зростаючий попит на якісні послуги з використанням геодезичної та картографічної продукції. У зв'язку з цим, актуальним є пошук та впровадження в галузь різних інноваційних функціонально – орієнтованих геоінформаційних технологій, які в сукупності із сучасними цифровими технологіями VR/AR дозволять візуалізувати інформацію про місцевість досить детально та інтуїтивно зрозумілим способом, людям, які оцінюють місцевість. Обґрунтовано спільне використання віртуальних та супутникових вимірювань для зйомки, виконано теоретичне рішення обробки даних та запропоновано методику складання масштабних планів. Виконано оновлення інформаційної бази геодезичної складової розробки комплексних планів для навчання та симуляції.

Практична значимість. Геоінформаційна продукція (топографічні, спеціальні карти, дані дистанційного зондування Землі, плани міст в цифровому та аналоговому форматах, цифрові моделі місцевості) використовуються при розв'язанні народногосподарських завдань і ще для оборонної стратегії країни. Вони призначаються для детального вивчення та оцінки місцевості; орієнтування на ній та для вимірювань і розрахунків під час проведення різноманітних заходів; при плануванні та дослідженні інженерних споруд.

Постановка проблеми. Починаючи з 1950 року в геодезії спостерігається інтенсивний процес електронізації та автоматизації. Електронізація у геодезії дозволила удосконалювати технології виконання геодезичних робіт, домогтися більш високої продуктивності при підвищенні точності вимірювань. В принципі ці процеси та проблеми були внутрішніми для топографо-геодезичного виробництва і не торкалися користувачів безпосередньо. З розвитком електронних обчислювальних машин та методів обробки даних почали з'являтися нові форми подання інформації про земну поверхню.

Геодезичні методи завжди керувалися основними технічними досягненнями, щоб йти в ногу з вимогами будівельного сектору та відкривати нові можливості у земельному управлінні. Нині геодезисти працюють в високодинамічному 3D середовищі та з високою візуалізацією, яка досягла своєї межі. Як показано на рис. 1, застосування геодезичного дизайну завжди було адаптовано до найсучасніших технологій. Особливо вплинуло на геодезичні дані винахід електронного вимірювання відстані (EDM) у 1970-х роках, що привело до більш точного класичного тригонометричного вимірювання також у локальному масштабі. Впровадження пристроїв GNSS у 80-х роках зробило великомасштабні тригонометричні мережі застарілими [1]. Важливим кроком стало впровадження роботизованих радіостанцій (RTS) в 1990-х роках [2].

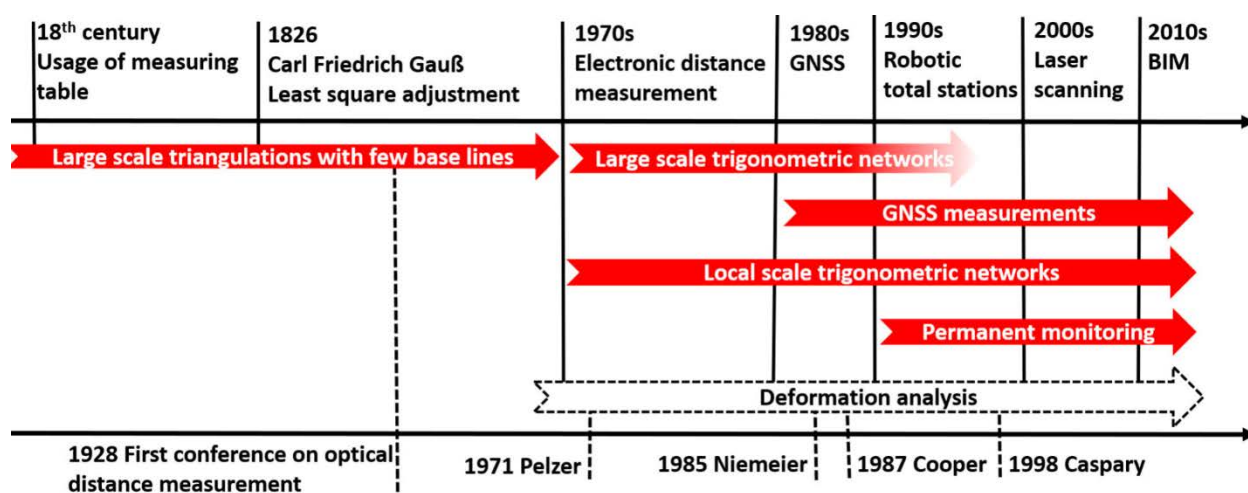


Рис. 1. Геодезичні досягнення в техніці зйомки та їх вплив на геодезичні дані [6]

Прецедент віртуальної реальності розпочався з появою мультимедійних технологій, феномен віртуальної реальності – поняття, що виходить за межі комп'ютерної реальності. "Віртуальність" має свою специфіку. Її розуміння пов'язане з гносеологічним трактуванням нового виміру образів реальності, що створюється засобами візуальних моделей. Віртуальність включає такі компоненти як: віртуальне інформаційне поле, віртуальний простір, віртуальні моделі. Ці компоненти зумовлюють взаємодію компонент віртуального моделювання. Вони не тільки збільшили продуктивність геодезиста в польових роботах, а й також дозволили повністю автоматизувати установки моніторингу [3]. Крім переваги вищої тимчасової роздільної здатності з'явилися нові виклики. Так дистанційному керуванню тахеометра на будівельному майданчику не вистачає здатності і гнучкості людини-геодезиста. Фіксовану установку точки інструменту важко налаштувати на темп.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Просторові відносини є одним з джерел формування просторових віртуальних моделей. Просторові відносини досліджуються у сфері штучного інтелекту й у геоінформатиці. Цей зв'язок відбивається у статті Ентоні Гелтона [4]. Його робота узагальнює більш ніж 100 публікацій у цій галузі та вводить на розгляд додатково до «просторового знання» ще й «просторово-часове знання». У геоінформатиці просторові відносини найбільше представлені у трьох видах: топологічні відносини, геореференції, та просторові ієрархічні відносини виду ISA, AKO [5].

Дослідження та впровадження нових методів для збору, обробки та аналізу геопросторової інформації вимагають системних рішень, послідовного виявлення та подолання бар'єрів інноваційного розвитку, для чого необхідний новий рівень використання геоінформаційних технологій. Застосування геоінформаційних технологій має забезпечувати потреби держави, підвищувати економічну ефективність окремих галузей, розвивати сферу державних послуг, створювати умови для розвитку бізнесу.

Такі автори, як Пельцер [7], Купер [8], а також Niemeier [9] мають свій внесок у концепції сучасного дизайну мережі. Незважаючи на те, що їхні концепції дійсні й сьогодні, багато хто вважає, що слід додати напругу сучасного будівельного майданчика та робочі процеси, і їх потрібно розглядати в динаміці та 3D перспективі. За Німейєром [9], етапи проектування геодезичної мережі можна розділити на три категорії (рис. 2).

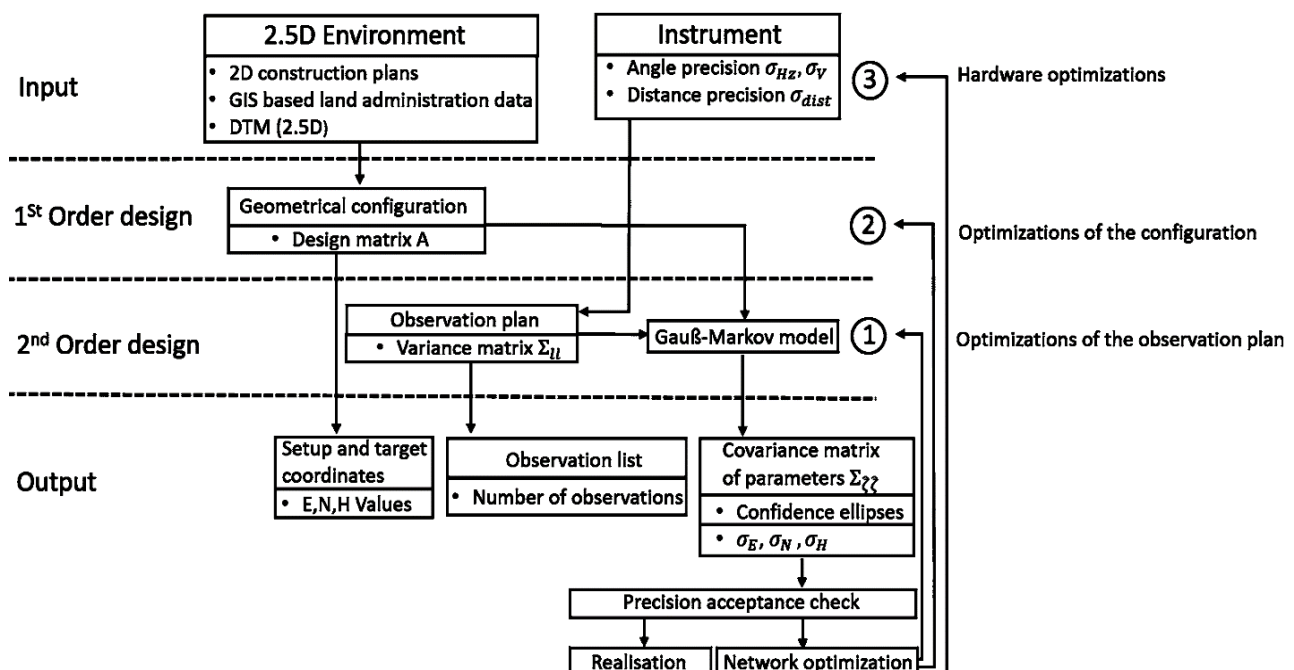


Рис. 2. Блок-схема щодо проектування 1-го та 2-го порядків для планування геодезичної мережі та етапів оптимізації [9]

Формування цілей статті. Дослідження системи віртуальної та попередньої реальності для навчання та визначення комплексних планів просторового становища та геометричних характеристик з використанням геодезичних даних. Поставлені в роботі задачі вирішуються аналізом бази супутникових геодезичних та інерційних систем вимірів та віртуальних програм на їх основі.

Виклад основного матеріалу. Людина має обмежене сприйняття реального образу і віртуальної моделі. Ці обмеження задають когнітивний та обмежувальний фільтри [10]. Слід зазначити, що віртуальна модель, як правило, відображає інформаційну ситуацію, а не окремий об'єкт. Тому при аналізі побудови віртуальної моделі як вихідної інформації розглядатимемо просторові дані. Для ефективного використання потенціалу просторових даних, задоволення потреб економіки в геоінформаційних продуктах та сервісах потрібен розвиток інформаційної інфраструктури та цифрової платформи просторових даних національного масштабу. Це призведе до суттєвого прискорення розвитку територій країни, повнішого інформаційного забезпечення економіки за рахунок інтеграції геоінформаційних систем різних рівнів, та надання зацікавленим особам швидкого доступу до якісних та актуальних просторових даних. Підвищить оперативність одержання інформації. Завдяки використанню часових рядів просторових даних стане можливим вирішення проблем, які потребують оцінки властивостей об'єктів та процесів у просторово – тимчасовому аспекті. Залучення сучасних інструментів обробки та аналізу просторових даних, автоматизованих експертних систем, моделювання процесів та явищ дозволить знизити ризики прийняття необґрунтованих управлінських рішень та впливу людського фактору. Інтеграція просторових даних, інструментів їх аналізу, виробників та споживачів у рамках єдиного інформаційного простору дозволяє підвищити оперативність, повноту та якість інформаційного забезпечення.

На 2-х мірній карті антропогенні та природні об'єкти (будинки, мости, річки, дерева, ущелини і т.д.) можна уявити лише певними умовними позначеннями у вигляді геометричних символів, які обмежують ступінь їх сприйняття людиною через те, що ми бачимо світ у трьох вимірах і нас оточують тривимірні зображення. Просторова інформація, яка сама собою тривимірна: рельєф місцевості, різноманітні споруди, навіть підземні комунікації може бути відображені по-новому, причому не тільки для покращення візуального сприйняття та розуміння, а й для проведення вимірювань та аналізу географічної інформації використовуючи 3D технології. За допомогою 3D можна розглядати та вивчати простір. Спостерігач сприймає сцену так, ніби сам знаходиться безпосередньо в самій сцені, або ж рухається

над нею. Таким чином, візуальне сприйняття місцевості навколо спостерігача на пряму пов'язано із загальним відчуттям від перегляду сцени загалом.

Комплекс програмного забезпечення, призначений для створення та редагування цифрових карт та планів міст, обробки даних ДЗЗ, виконання різних вимірів та розрахунків, оверлейних операцій, побудови 3D моделей, обробки растрових даних, засоби підготовки графічних документів у цифровому та друкованому вигляді, а також інструментальні засоби для роботи з базами даних.

Таблиця 1

Огляд програмного забезпечення для отримання геодезичних даних

Програмне забезпечення	Опис
Unity3D	Міжплатформне середовище розробки комп'ютерних ігор. Unity дозволяє створювати програми, що працюють під більш ніж 20 різними операційними системами, що включають персональні комп'ютери, ігрові консолі, мобільні пристрої, інтернет – програми та інші. Основними перевагами Unity є наявність візуального середовища розробки, міжплатформної підтримки та модульної системи компонентів. До недоліків відносять складності при роботі зі схемами та утруднення при підключенні зовнішніх бібліотек
Blender	Професійне вільне та відкрите програмне забезпечення для створення тривимірної комп'ютерної графіки, що включає засоби моделювання, скульптингу, анімації, симуляції, рендерингу, постобробки та монтажу відео зі звуком, компонування за допомогою «вузлів» (NodeCompositing), а також створення 2D анімацій
QGIS	Спочатку відома як Quantum GIS – вільна кросплатформова геоінформаційна система, що складається з настільної та серверної частини: QGIS Desktop ГІС для створення, редагування, візуалізації, аналізу та публікації геопросторової інформації. Під "QGIS" часто мають на увазі саме QGIS Desktop. QGIS Server та QGIS WebClient – серверні додатки для публікації в мережі досліджень, створених у QGIS Desktop через сервіси, сумісні з OGC-стандартами (наприклад, WMS та WFS).

Четверта промислова революція та наступна друга машинна революція, як її часто називають, призвела до появи таких нових проривних технологій:

1. Доповнена реальність (AR), включає розширення реального фізичного світу за допомогою візуальних ефектів за допомогою згенерованих комп'ютером або витягнутих реальних сенсорних вихідних даних, таких як звук, відео, графіка або GPS – дані, щоб удосконалювати роботу користувачів. Наприклад, якщо людина, використовуючи AR – окуляри, розглядає будівлю, що стоїть на вулиці, система може накладати докладні відомості про власника будівлі, кількості мешканців та часу її спорудження [11].

2. Безпілотні літальні апарати. Ще кілька років тому використання БПЛА завжди асоціювалося з розвідкою та війною. Однак, у зв'язку зі зростаючим попитом на своєчасні, точні, гіперспектральні дані та дані надвисокого дозволу для картування, досліджень, розслідувань та моніторингу, безпілотні літальні апарати сьогодні стали невід'ємною частиною геоінформаційної галузі.

3. Інтернет речі (IoT). Перетин IoT з геоінформаційними даними стане основним критерієм точності датчиків поєднаних з моделюванням додаткових даних видимого спектру при дистанційному зондуванні, близькому до реального часу.

4. Віртуальна реальність (VR) відрізняється від доповненої реальності, хоча часто вони використовуються разом і є взаємозамінними. Якщо перша просто доповнює або розширює фізичний світ, то VR змушує людину повністю поринути в інший світ і блокує все інше [12].

5. 3D – друк, технологія адитивного виробництва, що використовується для створення тривимірних жорстких об'єктів на основі цифрової моделі. У випадках аварійного реагування чи військового планування, міського планування чи навчання, 3D – друковані моделі місцевості можуть радикально змінити способи використання та передачі геоінформаційних даних.

Поява тривимірних моделей CAD – які можуть бути об'єднані для створення даних єдиного інтегрованого геоінформаційного середовища. Більшість об'єктів (рельєф, будівлі та споруди, деревна рослинність, елементи інфраструктури) моделюються окремо. Це означає, що до кожного з них можна прив'язати набір даних з необмеженим набором полів та атрибутів. В даний час ГІС використовується як елемент сучасних інформаційних технологій, інтегрованих у систему управління військами. Тривимірна карта – один з найкращих прикладів, завдяки якій є можливість наочно показати нанесену інформацію. Під час роботи у режимі тривимірного моделювання, оператор ГІС має можливість проводити різні вимірювання на місцевості, змінювати зовнішній вигляд тривимірного відображення об'єктів [13].

Поява повної віртуалізації будівлі на прикладі 3D-макетів необхідна для того, щоб точно передавати геометричні параметри об'єктів. За допомогою комп'ютерних програм можна будувати 3D-моделі, які більш наочно репрезентують об'єкти й навіть навколишній простір. За допомогою 3D-макету можна:

- виконати фотореалістичне відображення території та віртуальне пересування за моделлю;
- оцінити можливості моделювання та аналізу даних міського ландшафту, зміни моделей будівель та інших об'єктів;

➤ комбінувати тематичні шари із впровадженими 3D об'єктами (рис. 3) [14].

До характерних особливостей, якими володіє геоінформаційна система, можна віднести розвинену аналітику, роботу з величезними масивами даних, наявність спеціальних інструментів обробки даних просторового характеру. Їх основні переваги – зручність для користувача (дані у тривимірному вимірі найбільш легкі для сприйняття), можливість інтегрувати інформацію, накопичену різними джерелами, створювати єдиний масив для колективного використання. За допомогою системи ГІС стає можливим визначення на заданій території, кількості та взаємного розташування всіх наявних об'єктів.

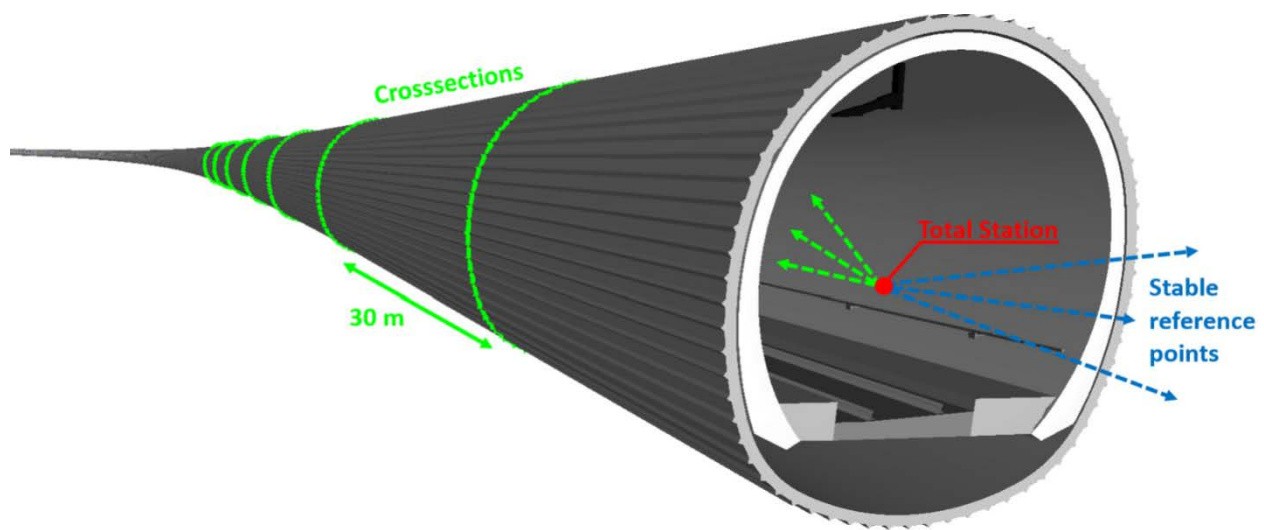


Рис. 3. 3D-модель внутрішньої частини тунелю та концепція вимірювання [15]

Розроблене програмне забезпечення VR вже реалізовує основні функції, такі як моделювання методів монтажу та експорт обладнання та візуалізації. Що дозволяє використовувати трьохмірні моделі з фотореалістичними текстурами, які є найбільш зрозумілими для людини і відображають інформацію про поверхню. Також фотореалістичні текстури дозволили відобразити складні геометричні елементи. Вивчивши сучасні геоінформаційні технології, можна зробити висновок, що впровадження інноваційних ГІС технологій в Україні є необхідним для подальшого розвитку.

Висновок. Сучасне віртуальне моделювання не є однорідним і розвивається за різних напрямів. Воно містить загальні принципи та концепції на рівні постановки та організації. Важливим у розвитку віртуального моделювання є когнітивні фактори, які дозволяють покращувати сприйнятливність світу і змінювати його масштаби на розсуд суб'єкта. У роботі було розглянуто моделювання та способи візуалізації просторових даних у

геоінформаційних системах, а також їх застосування в практичній діяльності для навчання. Можна зробити такі висновки: геоінформаційні системи, а також способи візуалізації даних у них, стрімко розвиваються, це пов'язано зі швидким розвитком комп'ютерної техніки, появою нових методів збору інформації, розвитком методологічної бази. У зв'язку з цим виникають нові способи застосування їх у практичній діяльності, зокрема, у ліквідації надзвичайних ситуацій в режимі реального часу, у військовій галузі, а також у повсякденній діяльності організацій та громадян.

До характерних особливостей, якими володіє геоінформаційна система, можна віднести розвинену аналітику, роботу з величезними масивами даних, наявність спеціальних інструментів обробки даних просторового характеру. Їх основні переваги – зручність для користувача (дані у тривимірному просторі найбільш легкі для сприйняття), можливість інтегрувати інформацію, накопичену різними джерелами, створювати єдиний масив для колективного використання. З допомогою системи ГІС стає можливим визначення на заданій території наявності, кількості та взаємного розташування всіх наявних об'єктів. Крім того, з її допомогою проводять, наприклад, аналіз геопросторових даних, що характеризують щільність розселення тощо і визначають різні зміни у часі.

Список використаних джерел

1. A. Bannister, S. Raymond, R. Baker: Surveying. 6th ed., John Wiley and Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York (1992). p. 180–184. ISBN 0-470-21845-2.
2. Hill Linda L. Georeferencing: The Geographic Associations of Information – MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England. 2009, 272 p.
3. K. Macheiner, H. Döller, W. Jachs, N. Kühtreiber, A. Eder et al.: Das dynamische Grundlagentnetz für den Semmering Basistunnel: Herausforderungen seit der Netzerstellung. Proc. 17. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung Graz, Wichmann Verlag (2017). pp. 441–456.
4. Antony Galton. Spatial and temporal knowledge representation // Earth Science Informatics, September, 2009, Volume 2, Issue 3, pp. 169-187.
5. R. Stengele, I. Schätti-Stählin: Grundlagen- und Hauptkontrollmessung im Gotthard-Basistunnel, Geomatik Schweiz: Geoinformation und Landmanagement, Heft 12: AplTransit, ETH Zürich (2010).
6. A. Wagner, P. Wasmeier, T. Wunderlich, H. Ingensand: Vom selbstzielenden Theodolit zur Image Assisted Total Station. avn – Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (2014). 171–180.
7. H. Pelzer: Statische, kinematische und dynamische Punktfelder. Geodätische Netze in der Landes und der Ingenieurvermessung II. Stuttgart, Germany (1985).
8. M. Cooper: Control Surveys in Civil Engineering. Collins, London, UK (1987).
9. W. Niemeier: Ausgleichungsrechnung: Statistische Auswertemethoden. De Gruyter, Berlin, New York (2018).

10. S.A. Kudz, I.V. Soloviev, V.Ya. Tsvetkov. Spatial Knowledge Ontologies // World Applied Sciences Journal. 2014. 31 (2). P.216-221.
11. Tiwari, Anuj and Kamal Jain. (2014) "GIS Steering Smart Future for Smart Indian Cities." International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 4(8): 442-446.
12. Zacharakis, I., Tsihrintzis, V.A. Environmental Forest Fire Danger Rating Systems and Indices around the Globe: A Review. Land 2023, 12, 194.
13. Шевчук, С., Чувпило, В., Гапон, С., Нагорна, С., & Куришко, Р. (2024). Використання ГІС для екологічно-ландшафтного управління землями населених. Журнал міждисциплінарних досліджень, 14 (1), 200-203. DOI:10.33543/140139200203.
14. Геоінформаційні системи і бази даних: монографія / В.І. Зацерковний, В.Г. Бурачек, О.О. Железняк, А.О. Терещенко. – Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, 2014. – 492 с. ISBN 978-617-527-121-6.
15. Чувпило, В., Шевчук, С., Гапон, С., Нагорна, С., & Куришко, Р. (2023). Кадастрові системи та землеустрій у містобудівному проектуванні: оптимізація землекористування та міського планування. Містобудування та територіальне планування, (84), 407–423. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.84.407-423>.

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor **Rozhi Inna**,
Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University,
Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, **Udovenko Iryna**,
Uman National University of Horticulture,
Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor **Dorozhko Yevhen**,
Kharkiv National Automobile and Highway University

THE USE OF GEODETIC DATA IN THE DEVELOPMENT OF VIRTUAL AND PRE-REALITY FOR TRAINING AND SIMULATIONS

The purpose is the development and research of virtual and pre-reality systems for determining geodetic data of complex plans of spatial location and geometric characteristics using geodetic methods. The tasks set in the work are solved by analyzing the database of satellite geodetic and inertial measurement systems, for use in informative and educational purposes.

Method. The application of virtual and satellite technologies that allow determining the spatial position in automatic mode (shooting in motion) for training and simulations, which is a priority direction for solving the tasks of increasing the safety and efficiency of geodetic work in full in accordance with the strategic direction of scientific and technical development.

The results connected with the implementation of the State Program "Digitization" in our country, information about the area is an important component

in many sectors of the economy, in connection with which there is a growing demand for quality services using geodetic and cartographic products. In this regard, the search and implementation of various innovative functionally oriented geo-information technologies in the industry, which in combination with modern VR/AR digital technologies will allow visualizing information about the area in a sufficiently detailed and intuitive way, to people who evaluate the area, is relevant. The joint use of virtual and satellite measurements for surveying is substantiated, a theoretical solution for data processing is performed, and a methodology for drawing up large-scale plans is proposed. The information base of the geodetic component of the development of complex plans for training and simulation has been updated.

Scientific novelty connected with the implementation of the State Program "Digitization" in our country, information about the area is an important component in many sectors of the economy, in connection with which there is a growing demand for quality services using geodetic and cartographic products. In this regard, the search and implementation of various innovative functionally oriented geo-information technologies in the industry, which in combination with modern VR/AR digital technologies will allow visualizing information about the area in a sufficiently detailed and intuitive way, to people who evaluate the area, is relevant. The joint use of virtual and satellite measurements for surveying is substantiated, a theoretical solution for data processing is performed, and a methodology for drawing up large-scale plans is proposed. The information base of the geodetic component of the development of complex plans for training and simulation has been updated.

Practical significance. Geoinformation products (topographic, special maps, data of remote sensing of the Earth, plans of cities in digital and analog formats, digital terrain models) are used in solving national economic problems and also for the country's defense strategy. They are appointed for detailed study and assessment of the area; orienting on it and for measurements and calculations during various activities; in the planning and research of engineering structures.

Keywords: geoinformation technologies; digital VR/AR technologies; computer models; geodesy.

REFERENCES

1. A. Bannister, S. Raymond, R. Baker: Surveying. 6th ed., John Wiley and Sons, Inc., 605 Third Avenue, New York (1992). p. 180–184. ISBN 0-470-21845-2. {in English}
2. Hill Linda L. Georeferencing: The Geographic Associations of Information – MIT Press Cambridge, Massachusetts, London, England. 2009, 272 p. {in English}
3. K. Macheiner, H. Döller, W. Jachs, N. Kühtreiber, A. Eder et al.: Das dynamische Grundlagentnetz für den Semmering Basistunnel: Herausforderungen seit

der Netzerstellung. Proc. 17. Internationaler Kurs für Ingenieurvermessung Graz, Wichmann Verlag (2017). pp. 441–456. {in German}

4. Antony Galton. Spatial and temporal knowledge representation // Earth Science Informatics, September, 2009, Volume 2, Issue 3, pp. 169-187. {in English}

5. R. Stengele, I. Schätti-Stählin: Grundlagen- und Hauptkontrollmessung im Gotthard-Basistunnel, Geomatik Schweiz: Geoinformation und Landmanagement, Heft 12: AplTransit, ETH Zürich (2010). {in German}

6. A. Wagner, P. Wasmeier, T. Wunderlich, H. Ingensand: Vom selbstzielenden Theodolit zur Image Assisted Total Station. avn – Allgemeine Vermessungs-Nachrichten (2014). 171–180. {in German}

7. H. Pelzer: Statische, kinematische und dynamische Punktfelder. Geodätische Netze in der Landes- und der Ingenieurvermessung II. Stuttgart, Germany (1985). {in German}

8. M. Cooper: Control Surveys in Civil Engineering. Collins, London, UK (1987). {in English}

9. W. Niemeier: Ausgleichungsrechnung: Statistische Auswertemethoden. De Gruyter, Berlin, New York (2018). {in German}

10. S.A. Kudz, I.V. Soloviev, V.Ya. Tsvetkov. Spatial Knowledge Ontologies // World Applied Sciences Journal. 2014. 31 (2). P.216-221. {in English}

11. Tiwari, Anuj and Kamal Jain. (2014) “GIS Steering Smart Future for Smart Indian Cities.” International Journal of Scientific and Research Publications, Volume 4(8): 442-446. {in English}

12. Zacharakis, I., Tsihrintzis, V.A. Environmental Forest Fire Danger Rating Systems and Indices around the Globe: A Review. Land 2023, 12, 194. {in English}

13. Shevchuk, S., Chuvpylo, V., Hapon, S., Nahorna, S., & Kuryshko, R. (2024). Vykorystannia HIS dlia ekolohichno-landshaftnoho upravlinnia zemliamy naselenyi. Zhurnal mizhdystsyplinarnykh doslidzhen, 14 (1), 200-203. DOI:10.33543/140139200203. {in Ukrainian}

14. Heoinformatsiini systemy i bazy danykh: monohrafiia / V.I. Zatserkovnyi, V.H. Burachek, O.O. Zhelezniak, A.O. Tereshchenko. – Nizhyn: NDU im. M. Hoholia, 2014. – 492 s. ISBN 978-617-527-121-6. {in Ukrainian}

15. Chuvpylo, V., Shevchuk, S., Hapon, S., Nahorna, S., & Kuryshko, R. (2023). Kadastrovi systemy ta zemleustrii u mistobudivnomu proektuvanni: optymizatsiia zemlekorystuvannia ta miskoho planuvannia. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia, (84), 407–423. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.84.407-423> {in Ukrainian}