

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.8.506-517

УДК 631.613

д.г.н., професор **Шевчук С.М.**,
Shevchuk1983@i.ua, ORCID: 0000-0002-8155-8326,

к.т.н., доцент, **Домашенко Г.Т.**,
halyna.domashenko@pdau.edu.ua, ORCID: 0009-0001-5783-6365

Полтавський державний аграрний університет

Рожі Т.А., tomas.rozhi.94@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6794-9662,
Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини

СУЧАСНІ МЕТОДИ ГЕОДЕЗИЧНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ТЕРИТОРІЙ: ВИКОРИСТАННЯ GPS ТА ГНСС ТЕХНОЛОГІЙ

Мета роботи знайти взаємозв'язок між картографією та GPS і ГНСС технологіями. Ця проблема актуальна у зв'язку з повсюдною необхідністю переоснащення різних картографічних структур вимірювальними засобами та програмним забезпеченням ГІС, а також з необхідністю оптимального вибору таких засобів із численних варіантів різного призначення та різної складності, доступних на сьогодні.

Матеріали та методи досліджень: огляд літератури, застосування супутникових технологій, які дозволяють визначати просторове положення в автоматичному режимі для вирішення різних завдань. Аналізу моніторингу і діагностики відповідно до стратегічного напрямку науково-технічного розвитку.

Необхідність та доцільність впровадження у геодезичне виробництво сучасних супутникових технологій, що базуються на використанні глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) стало очевидним на початку 90-х років ХХ ст. Нові технічні засоби та технології на базі ДПС революційним чином змінювали геодезичні методи координатних визначень як для виробничих, так та для наукових цілей. Основними завданнями GNSS-вимірників є обчислення з різною точністю поточних невідомих координат точок та винесення в натуру точок з відомими координатами, а також ряд додаткових додатків (розрахунок відстаней, обчислення площ, координатна геометрія, розбивка та ін.). Крім необхідності координування об'єктів, виміру для ГІС містять також низку додаткових завдань, серед яких насамперед – необхідність запису різних атрибутивних даних, прив'язаних до об'єктів ГІС.

Активна розробка технологій дистанційного зондування землі з використанням сигналів GPS розпочато наприкінці 80-х років. і ведеться у кількох напрямках: розробка технології побудови глобальних геодезичних карток ПЕМ (GIM); розвиток методів GPS картографії; розробка

асиміляційних моделей для оперативного прогнозування параметрів території. Дослідження технологій дистанційного моніторингу за допомогою сигналів GPS/GNSS та вивчення з їх допомогою динаміки картографічних змін різного походження становлять предмет дослідження даної статті. Проведено оцінку характеристик (чутливість, просторовий і тимчасовий дозвіл, обсяг інформації, що отримується, діапазон вимірювань) наземних мереж приймачів GPS/ГНСС, призначених для реєстрації та моніторингу геодезичних реперів, які позначають територію і дозволяють ефективно побудувати картографічну модель, що є дуже актуальним під час ведення бойових дій на території України.

Ключові слова: глобальні навігаційні супутникові системи (ГНСС); геодезична мережа; геоінформаційні технології; дистанційне зондування; цифрова модель рельєфу (ЦМР); картографічний метод; система глобального позиціонування (GPS).

Постановка проблеми. На сучасному етапі розвитку географічної науки все більшого значення набувають географічні інформаційні системи (ГІС), за допомогою яких можливий більш оперативний та глибокий аналіз досліджуваних процесів і явищ, візуалізація просторової інформації на якісно новому рівні. ГІС-технології проникають у багато галузей науки й практики, найчастіше виходячи за рамки географії. Особливістю роботи з такими ГІС є те, що при створенні чи актуалізації всієї системи ведеться вимірювальна робота за окремими типовими об'єктами господарства щодо невеликих розмірів (наприклад, квартал лісового господарства) [1].

Однією зі значних переваг GNSS – технологій це економія часу на проведення знімання. Особливо ефективно використовувати її для таких видів робіт як: планувальні роботи для формування рельєфу у будівництві, проведення топографічних робіт, виконання робіт у місцях віддалених від пунктів ДМР [2]. Проте є й недоліки таких технологій. Одним із таких мінусів є відсутність можливості знімання при закритій видимості з неба. GNSS – системи доцільніше застосовувати на досить протяжних об'єктах з добре відкритим небом: дороги, мережі комунікацій на незабудованій або малозабудованій території.

На ділянках, де проводиться інтенсивна забудова та виконується геодезичне знімання місцевості, використовуються дані, отримані під час знімання, на сільгоспугіддях та лісових ділянках широко застосовується знімання з використанням GPS (Global Positioning System – Система глобального позиціонування). Попри багато переваг, GPS-систем є і недоліки. Наприклад, GPS-приймач може бути вимкнений у будь-який момент, крім того,

використання GPS-технології передбачає наявність електронних карток, які в деяких країнах ще не розроблено.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основним завданням GNSS-вимірників є обчислення з різною точністю поточних невідомих координат точок та винесенні в натуру точок з відомими координатами, а також ряду додаткових додатків (розрахунку відстані, обчисленні площ, координатну геометрію, розбивку та ін.). Автори [3], описали перший варіант GNSS-вимірювача (портативний GPS-навігатор) представлений GPS навігатором eXplorist 510 фірми Magellan, яка займає лідируючі позиції на ринку навігаційного обладнання.

Автори [4], описали навігатори фірми Magellan серії eXplorist, які оснащені потужними високочутливими GPS антенами SiRFstarIII з можливістю використання системи EGNOS (загальноєвропейської геостационарної системи навігаційного покриття), яка акумулює інформацію від супутників GPS, ГЛОНАСС та Galileo та власних геостационарних супутників. Сукупність інформації транслюється на GPS-приймачі для забезпечення високої точності (до 3 м у сприятливих умовах) та швидкого визначення координат (до 15 секунд – холодний старт).

GPS-навігатори серії eXplorist дозволяють визначити власне місцезнаходження, виробляти розрахунки параметрів територій (площа, периметр і т.д.). Пристрої обладнані цифровою камерою та диктофоном, у яких є можливість прив'язки до географічних координат. Захищеність від складних умов навколишнього середовища, енергозберігаючі технології та гнучке картографічне забезпечення [5].

В результаті обробки матеріалів фотознімання в Agisoft PhotoScan автори [6], отримали такі види геопросторових даних:

- Хмари точок у форматах Wavefront OBJ, Stanford PLY, XYZ Point Cloud, ASPRS LAS, LAZ, ASTM E57, U3D, pottree, Agisoft OC3, Topcon CL3, PDF;
- Тривимірні моделі місцевості у форматах Wavefront OBJ, 3DS, VRML, Stanford PLY, Autodesk DXF, Autodesk FBX, STL моделі, COLLADA, U3D, Adobe PDF, Google Earth KMZ;
- Ортофотоплани у форматах JPEG, PNG, TIFF, GeoTIFF, мозаїка масштабів Google Earth KML, тайли Google Map, MB Tiles, тайли World Wind;
- матриці висот у форматах GeoTIFF, Arc/Info ASCII Grid (ASC), Band interleaved (BIL), XYZ, Sputnik KMZ;
- Дані по сполучних точках BINGO (*.dat), ORIMA (*.txt), PATB (*.ptb);
- калібрування та орієнтація камер формат PhotoScan (XML), Bundler OUT, CHAN, Voicou (текстовий формат), Omega Phi Карра (текстовий формат), зовнішня орієнтація (PATB, BINGO, AeroSys), файл проєкту Inpho;

· тайлові моделі у форматах PhotoMesh Layer (*.zip), Agisoft Tiled Model (*.tls), Agisoft Tile Archive (*.zip).

Автори [7] описують, застосування GPS знімання на ділянках, де було завершено інтенсивну забудову (сільських і лісових ділянках) і виконується геодезичне знімання місцевості. Отже, ініціатори розробки та реалізації системи GPS спочатку були воєнні (що не зменшує її важливість і в теперішній час), а супутникова сітка для визначення координат у будь-якій точці земного шару була названа Navstar (навігаційна система з визначенням часу та дальності). Аббревіатура GPS з'явилася пізніше, коли система стала використовуватися також і в громадянських цілях для проведення геодезичного картографування місцевості.

Мета роботи знайти взаємозв'язок між картографією та GPS і ГНСС технологіями. Ця проблема актуальна у зв'язку з повсюдною необхідністю переоснащення різних картографічних структур вимірювальними засобами та програмним забезпеченням ГІС, а також з необхідністю оптимального вибору таких засобів із численних варіантів різного призначення та різної складності, доступних на сьогодні.

Матеріали та методи досліджень: огляд літератури, застосування супутникових технологій, які дозволяють визначати просторове положення в автоматичному режимі для вирішення різних завдань. Аналізу моніторингу і діагностики відповідно до стратегічного напрямку науково-технічного розвитку.

Виклад основного матеріалу. Вивчення рельєфу земної поверхні – одне з головних завдань сучасної географічної науки, і навіть геодезії. Це зв'язано з тим що такі характеристики рельєфу, як розподіл по території абсолютних висот, відносних перевищень, ухилів, вертикальна та горизонтальна розчленованість та деякі інші, є об'єктом фундаментальних географічних досліджень, а також їх враховують при підготовці території для будівництва різних інженерних споруд (рис. 1). Одним із джерел інформації про рельєф є цифрова модель рельєфу (ЦМР). ЦМР – це цифровий опис інформації про висоту земної поверхні без урахування рослинності, будівель та інших висотних об'єктів, що на ній знаходяться [8].

Картографічний метод є одним із головних джерел збору даних про рельєф. Він передбачає створення картографічних моделей (окремих карт, серій карт, атласів) та одержання нового знання шляхом їх аналізу і перетворення. Карта – це носій геопросторової інформації, її зберігач і передавач. Електронна цифрова карта має на увазі отримання та візуалізацію інформації, а також можливість управління карткою, управління шарами, масштабування, переміщення по карті, регулювання видимості об'єктів карти, 3D моделювання, робота з атрибутивною базою даних, вибіркою інформації тощо. Слід зазначити,

що розробка та використання електронних карт в муніципальне управління потребує великого фінансового забезпечення цих проєктів як на етапі впровадження, а й у забезпеченні технічної підтримки та оновлення інформації. Тому при здійсненні проєктів з розробки та використання електронних цифрових карт муніципальних об'єктів частка фінансування має лягати на «плечі» держави, як найбільш зацікавленого користувача.

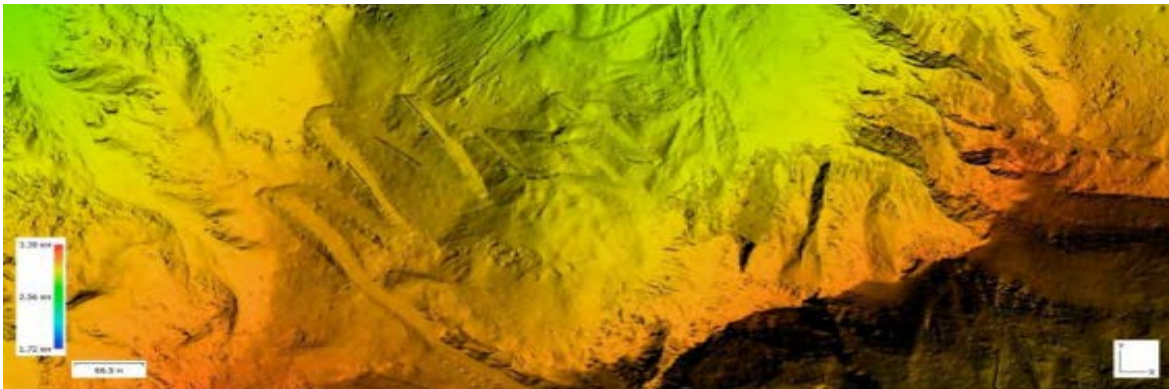


Рис. 1. Цифрова модель рельєфу [9]

Супутникова система GPS — це глобальна супутникова система, розроблена Міністерством оборони США для покращення цивільних та військових функцій навігації та позиціонування. Секція управління включає глобальну систему наземних станцій відстеження та спостереження. Головний пункт управління на базі ВПС Фалькон у Колорадо-Спрінгз, Колорадо, США, куди надходять сигнали, що надсилаються із супутників GPS, і передає зібрану ними інформацію на основну диспетчерську станцію. Головна станція керування використовує ці дані для розрахунку точної моделі орбіти для угруповання GPS, і ця інформація потім формується в оновлену навігаційну інформацію для кожного супутника в реальному часі.

Кожен супутник надсилає свою навігаційну інформацію за допомогою принаймні двох різних розширень коди: один грубий код (C/A код), а інший точний код (P-код). C/A код є у вільному доступі, а P-код зазвичай використовується для шифрування. Особливо використовується у військових цілях. Код C/A — це псевдовипадковий код із 1023 мікросхемами і швидкістю чіпа 1023 Мчп/с. Кожен супутник має власний код C/A, щоб його можна було розпізнати окремо. Його можна приймати окремо від сигналів, що передаються іншими супутниками на одній частоті. Коли ввімкнено режим «антиспуфінг», точний код є зашифрований, а код зашифрований для генерації P (Y) коду [10]. Цей код можна розшифрувати лише за допомогою дійсного грубого коду секретного пристрою або коду P (Y), який може передавати користувачеві точний час. Частоти, що використовуються в сегменті GPS, коливаються від L1

до L5. L1 (1575,42 MHz) включаючи навігаційну інформацію через цивільний (L1C) і військовий (M) код L1. L2 (1227,60 MHz).

GNSS – це супутникова навігаційна система, призначена для позиціонування об'єктів, визначення їхнього положення в просторі, тобто їхніх координат (рис. 2). Сучасні навігаційні системи визначають не тільки положення об'єкта, а й його напрямок та швидкість. На разі близько 200 організацій збирають дані GNSS спостережень із базових станцій по всьому світу в системі Міжнародної служби GNSS – IGS, що входить до складу Міжнародної асоціації геодезії – IGS (рис. 3). В останні роки в низці країн були створені мережі базових станцій GPS, які дозволяють приймачам GPS працювати в режимі реального часу (RTK) та диференційному режимі (DGPS). Системи GPS/NAVSTAR надають користувачам високоточне просторове та тимчасове позиціонування в будь-який час доби і практично за будь-якої погоди. Ці системи широко використовувалися в геодезії, топографії, ГІС та земельному кадастрі за останнє десятиліття і є ідеальними інструментами для створення та розвитку опорних мереж [11].

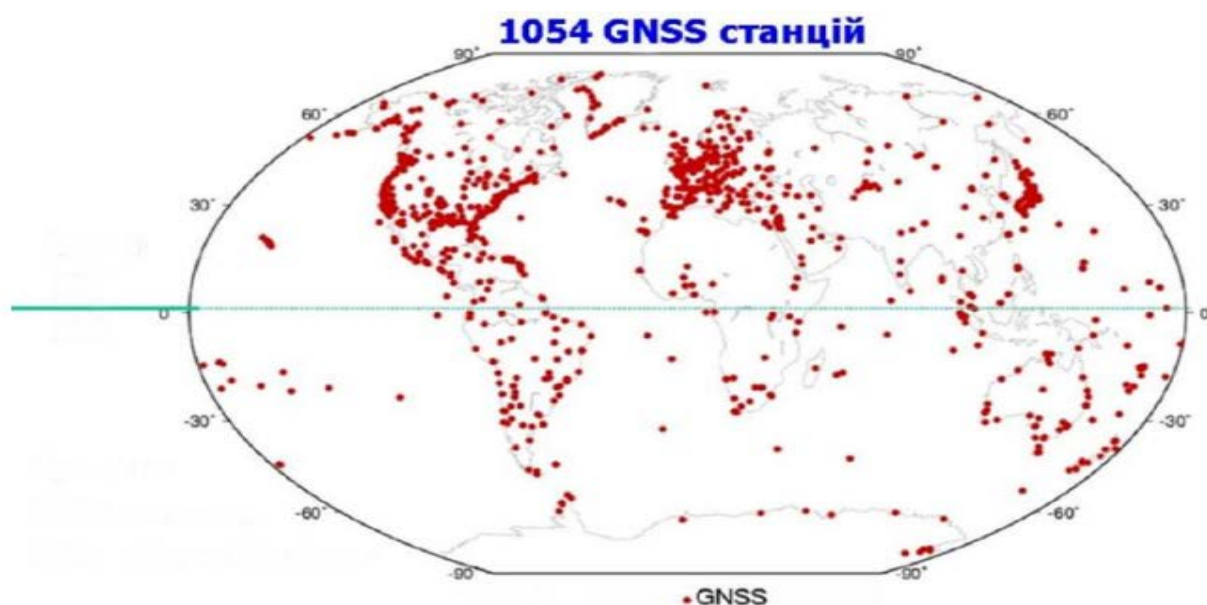


Рис. 2. Загальносвітова мережа GNSS станцій спостережень [12]

В практичних цілях найпоширенішою технологією є метод відносного позиціонування, який володіючи певними характеристиками поділяється на використання диференціального режиму (differential GPS, або DGPS) і кінематичного режиму в реальному часі (RTK). В обох цих режимах мобільний приймач – ровер має використовувати GNSS приймач у точці з заданими координатами, як опорний пункт для корекції власних вимірів. У режимі DGPS

з метою отримання координатного рішення використовують тільки кодові вимірювання на основі сигналу супутника GNSS.



Рис. 3. International GPS Service (IGS) мережа на території Європи [13]

На сьогодні існує безліч GPS технологій, починаючи від телефонного навігатора з точністю до декількох метрів і закінчуючи геодезичними обладнанням з точністю до 5 міліметрів. Технологічні розробки карти технологіями GPS та GNSS включають кілька етапів (рис. 4). Перший етап – збір та первинна обробка відомостей, отриманих із першоджерел. Потім здійснюється проектування змісту картки. Первинна інформація є картографічний матеріал, земельно-кадастрові дані, аерофотознімки, космічні знімки, статистичні дані тощо.

Другий етап полягає у створенні за допомогою GPS та GNSS двох типів баз даних. Перша база даних включає географічну інформацію (цифрову картографічну основу). Другий тип бази даних представлений у вигляді семантичної інформації (таблиці статистичних даних про об'єкти картки). Крім цього, розробляється структура таблиць атрибутивної бази даних з урахуванням природних та соціально-економічних особливостей муніципалітету [15].

За результатами інвентаризації земель виконавець робіт складає технічну документацію, що включає:

- 1) технічне завдання на виконання роботи по інвентаризації земель;
- 2) пояснювальну записку, що містить короткі характеристики об'єкта інвентаризації, підставу для виконання робіт, реквізити виконавця, опис матеріалів, використаних під час складання технічної документації, зміст та склад виконаних робіт із землеустрою;
- 3) текстові матеріали:

- рішення органів виконавчої влади чи органів місцевого самоврядування або суду про проведення інвентаризації земель;
- копію документів, які містять вихідні дані, що використовувалися при проведенні інвентаризації земель;
- матеріал топографо-геодезичного вишукування;
- пропозицію стосовно узгодження даних, отриманих в результаті проведеного моніторингу інвентаризації земель, з інформацією, яка міститься у документах, які відповідно засвідчують права на земельну ділянку у Державному земельному кадастрі [16].

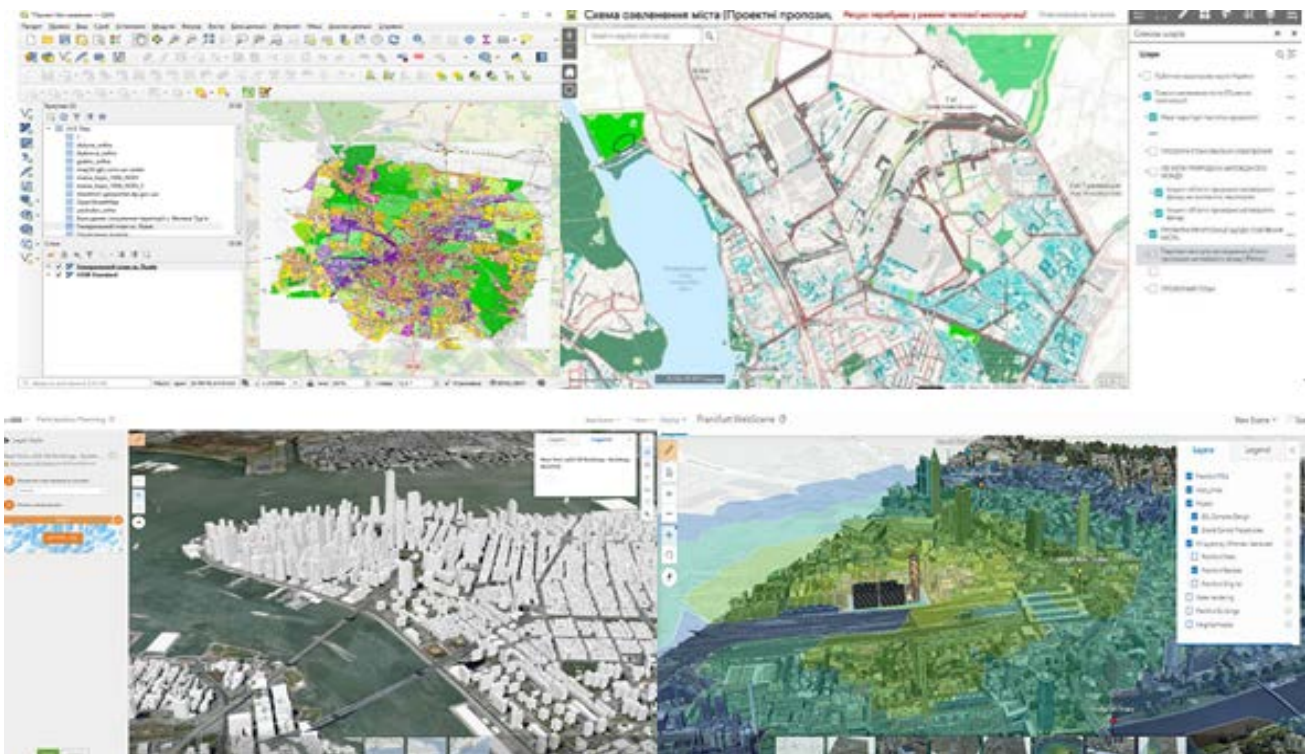


Рис. 4. Зразок електронної цифрової карти міста спроектованої за допомогою технологій GPS та GNSS [14]

Висновок. у цій статті ми з'ясували ефективність застосування GNSS та GPS технологій для проведення інженерно-геодезичних вишукувань. Розглянули переваги використання супутникових систем перед класичними електронними тахеометрами. Описали стадії етапи технологічної розробки карти технологіями GPS та GNSS. Також розглянуто можливості ефективних й універсальних супутникових технологій, які широко використовуються для розв'язання геодезичних задач найвищого рівня точності. У зв'язку з цим практично зникла необхідність у тимчасових базових станціях, які до теперішнього часу були основою застосування відносного методу в GNSS спостереженнях та картографування територій. З метою підвищення продуктивності праці та економії матеріальних ресурсів GPS - технології

використовуються для збору кадастрових даних на великих територіях та оновлення інформації про зміни земної поверхні. Тому геоінформаційні технології вимагають постійного подальшого розвитку та інтеграції обох видів інформації.

Література:

1. Lecours, V., Dolan, M.F.J., Micallef, A., Lucieer, V.L. A review of marine geomorphometry, the quantitative study of the seafloor // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2016. V. 20(8). P. 3207–3244.
2. MacMillan, R.A., Shary, P.A. 2009. "Landforms and Landform Elements in Geomorphometry." In: T. Hengl and H.I. Reuter (Ed.) *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Elsevier, Amsterdam, 227-254.
3. Baraka M.A., El-Shazly E.H. Monitoring Bridge Deformations During Static Loading Tests Using GPS // *From Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8, TS 40 – Deformation Measurement and Analysis*, Cairo, Egypt, April 16-21, 2005 pp. 1-10.
4. Калинич І.В., Гриник Г.Г., Ничвид М.Р. *Геодезія: навч. посібник*. Ужгород, 2020. 248 с.
5. Grundhöfer, L., Rizzi, F.G., Gewies, S., Hoppe, M., Bäckstedt, J., Dziewicki, M., and Del Galdo, G., Positioning with medium frequency R-Mode, *Navigation*, 2021, 68(4), 829–841, doi: <https://doi.org/10.1002/navi.450>.
6. Schäfer T., Wasmeier P., Ratke K., Foppe K., Preuß G. Motion detection at Munich's Olympic Tower with a multi-sensor system operating at different sampling rates // *Shaping the Change XXIII FIG Congress, TS 78 – Survey Control and Monitoring of Buildings*, Munich, Germany, October 8-13, 2006 pp. 1-15.
7. Lee, J.K., Grejner-Brzezinska, D., Toth, Ch., Network-based Collaborative Navigation in GPS-Denied Environment, *Journal of Navigation*, 2012, 65, no. 3, pp. 445–457, doi: 10.1017/S0373463312000069.
8. Kramer, D., DARPA looks beyond GPS for positioning, navigating, and timing, *Physics Today*, 2014, 67 (10): 23–26, <https://doi.org/10.1063/PT.3.2543>.
9. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. *GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more*. Springer Science & Business Media. 2007.
10. Keller, J., Three companies set sights on precision navigation that works independently of GPS, *Military+Aerospace Electronics*, Sept. 25, 2015, URL: www.militaryaerospace.com/articles/2015/09/navigation-without-gps.html.
11. Рижок З.Р., Поляковська Л.Л., Ступень Р.М., Колодій П.П. *Математична обробка геодезичних вимірів: навч. посібник*. Львів: «Галицька видавнича спілка», 2020. 179 с.

12. Adams, A.L., Dickinson, K.J.M., Robertson, B.C., & van Heezik, Y. (2013). An evaluation of the accuracy and performance of lightweight GPS collars in a suburban environment. *PLoS ONE*, 8, e68496.
13. J. Paziewski, P. Wielgosz, Accounting for GalileoGPS inter-system biases in precise satellite positioning, *J. Geodes.* 89 (1) (2015) 81e93.
14. O. Montenbruck, P. Steigenberger, L. Prange, Z. Deng, Q. Zhao, F. Perosanz, I. Romero, The Multi-GNSS Experiment (MGEX) of the International GNSS Service (IGS) achievements, prospects and challenges, *Adv. Space Res.* 59 (7) (2017) 1671e1697.
15. Шевчук, С., Прокопенко, Н., & Рожі, Т. (2024). Аналіз використання геодезичних даних при плануванні та моніторингу агроландшафтів: оптимізація землекористування та охорони природи. *Просторовий розвиток*, (7), 445–458. <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.445-458>
16. Чувпило В., Шевчук С., Гапон С., Нагорна С., Куришко, Р. Кадастрові системи та землеустрій у містобудівному проектуванні: оптимізація землекористування та міського планування. *Містобудування та територіальне планування*. 2023. No(84). С. 407–423. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.84.407-423>.

Doctor of Geographic Sciences, Professor **Shevchuk Serhii**,
Phd of Technical Sciences, Associate Professor **Domashenko Halyna**,
Poltava State Agrarian University,
Rozhi Tomas, Pavlo Tychyna Uman State Pedagogical University Uman

MODERN METHODS OF GEODESIC MAPPING OF TERRITORIES: USE OF GPS AND GNSS TECHNOLOGIES

The necessity and expediency of introducing into geodetic production modern satellite technologies based on the use of global navigation satellite systems (GNSS) became obvious in the early 90s of the XX century. New technical means and technologies based on GPS revolutionized the geodetic methods of coordinate determination for both industrial and scientific purposes. The main tasks of GNSS-meters are the calculation with varying accuracy of the current unknown coordinates of points and the rendering in nature of points with known coordinates, as well as a number of additional applications (calculation of distances, calculation of areas, coordinate geometry, breakdown, etc.). In addition to the need to coordinate objects, measurements for GIS also contain a number of additional tasks, among which, first of all, the need to record various attribute data tied to GIS objects.

Active development of earth remote sensing technologies using GPS signals began in the late 1980s. and is conducted in several directions: development of technology for building global TEM geodetic maps (GIM); development of GPS cartography methods; development of assimilation models for operational forecasting of territory parameters. The study of remote monitoring technologies using GPS/GNSS signals and the study of the dynamics of cartographic changes of various origins with their help are the subject of this article. An evaluation of the characteristics (sensitivity, spatial and temporal resolution, volume of information received, measurement range) of ground networks of GPS/GNSS receivers designed for registration and monitoring of geodetic benchmarks that mark the territory and allow for the efficient construction of a cartographic module, which is very relevant under during hostilities on the territory of Ukraine.

Keywords: global navigation satellite systems (GNSS); geodetic network; geoinformation technologies; remote sensing; digital terrain model (DRM); cartographic method; global positioning system (GPS).

REFERENCES

1. Lecours, V., Dolan, M.F.J., Micallef, A., Lucieer, V.L. A review of marine geomorphometry, the quantitative study of the seafloor // *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 2016. V. 20(8). P. 3207–3244. {in English}
2. MacMillan, R.A., Shary, P.A. 2009.”Landforms and Landform Elements in Geomorphometry.” In: T. Hengl and H.I. Reuter (Ed.) *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications.* Elsevier, Amsterdam, 227-254. {in English}
3. Baraka M.A., El-Shazly E.H. Monitoring Bridge Deformations During Static Loading Tests Using GPS // *From Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8, TS 40 – Deformation Measurement and Analysis, Cairo, Egypt, April 16-21, 2005* pp. 1-10. {in English}
4. Kalynysh I.V., Hrynyk H.H., Nychvyd M.R. *Heodeziia: navch. posibnyk.* Uzhhorod, 2020. 248 s. {in Ukrainian}
5. Grundhöfer, L., Rizzi, F.G., Gewies, S., Hoppe, M., Bäckstedt, J., Dziewicki, M., and Del Galdo, G., Positioning with medium frequency R-Mode, *Navigation*, 2021, 68(4), 829–841, doi: <https://doi.org/10.1002/navi.450>. {in English}
6. Schäfer T., Wasmeier P., Ratke K., Foppe K., Preuß G. Motion detection at Munich’s Olympic Tower with a multi-sensor system operating at different sampling rates // *Shaping the Change XXIII FIG Congress, TS 78 – Survey Control and Monitoring of Buildings, Munich, Germany, October 8-13, 2006* pp. 1-15. {in English}

7. Lee, J.K., Grejner-Brzezinska, D., Toth, Ch., Network-based Collaborative Navigation in GPS-Denied Environment, *Journal of Navigation*, 2012, 65, no. 3, pp. 445–457, doi: 10.1017/S0373463312000069. {in English}
8. Kramer, D., DARPA looks beyond GPS for positioning, navigating, and timing, *Physics Today*, 2014, 67 (10): 23–26, <https://doi.org/10.1063/PT.3.2543>. {in English}
9. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more. Springer Science & Business Media. 2007. {in English}
10. Keller, J., Three companies set sights on precision navigation that works independently of GPS, *Military+Aerospace Electronics*, Sept. 25, 2015, URL: www.militaryaerospace.com/articles/2015/09/navigation-without-gps.html. {in English}
11. Ryzhok Z.R., Poliakovska L.L., Stupen R.M., Kolodii P.P. *Matematychna obrobka heodezychnykh vymiriv: navch. posibnyk*. Lviv: «Halytska vydavnycha spilka», 2020. 179 s. {in Ukrainian}
12. Adams, A.L., Dickinson, K.J.M., Robertson, B.C., & van Heezik, Y. (2013). An evaluation of the accuracy and performance of lightweight GPS collars in a suburban environment. *PLoS ONE*, 8, e68496. {in English}
13. J. Paziewski, P. Wielgosz, Accounting for GalileoGPS inter-system biases in precise satellite positioning, *J. Geodes.* 89 (1) (2015) 81e93. {in English}
14. O. Montenbruck, P. Steigenberger, L. Prange, Z. Deng, Q. Zhao, F. Perosanz, I. Romero, The Multi-GNSS Experiment (MGEX) of the International GNSS Service (IGS) achievements, prospects and challenges, *Adv. Space Res.* 59 (7) (2017) 1671e1697. {in English}
15. Shevchuk, S., Prokopenko, N., & Rozhi, T. (2024). Analiz vykorystannia heodezychnykh danykh pry planuvanni ta monitorynhu ahrolandshaftiv: optymizatsiia zemlekorystuvannia ta okhorony pryrody. *Prostorovyi rozvytok*, (7), 445–458. <https://doi.org/10.32347/2786-7269.2024.7.445-458>. {in Ukrainian}
16. Chuvpylo V., Shevchuk S., Hapon S., Nahorna S., Kuryshko, R. *Kadastrovi systemy ta zemleustrii u mistobudivnomu proektuvanni: optymizatsiia zemlekorystuvannia ta miskoho planuvannia. Mistobuduvannia ta terytorialne planuvannia*. 2023. No(84). S. 407–423. <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2023.84.407-423>. {in Ukrainian}