

ГЕОПРОСТОРОВА ПІДТРИМКА

УДК 528.8

DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2217.2024.58.62-67>

Олександр КОРЕНЕЦЬ, канд. геогр. наук

ORCID ID: 0000-0001-6352-9591

e-mail: oleksandr.korenets@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Анатолій ЛУКІЯНЧУК, ст. наук. співроб.

ORCID ID: 0000-0002-5757-6196

e-mail: anatolii.lukiianchuk@knu.ua

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ МЕРЕЖ ГНСС-СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Вступ. Дослідження має на меті проведення наукового аналізу сучасного стану розвитку мереж ГНСС-спостережень. Шляхом обґрунтованого використання різноманітних методів аналізу висвітлено основні аспекти функціонування цих мереж, поточні тенденції розвитку та визначені можливі перспективи подальшого їх використання, у тому числі для потреб ЗС України.

Методи. Основними методами нашого дослідження є аналіз літератури та технічних документів мереж ГНСС-спостережень. Було проведено системний огляд наукових публікацій, законодавчих актів та інших документів, що стосуються розвитку мереж ГНСС.

Результати. Значна кількість країн розробила власні багатофункціональні системи високоточного позиціонування. Створення європейської земної референційної системи ETRS89, яка доступна для всієї Європи, стало одним із важливих етапів у розвитку національних мереж референційних станцій. Одним із ефективних каталізаторів для впровадження систем високоточного позиціонування стало створення нової структури – Європейської системи визначення позиції EUPOS. Це європейська громадська ініціатива, спрямована на створення у Центральній та Східній Європі однорідної інфраструктури, що ґрунтується на диференціальному методі DGNS. Ця технічна інфраструктура складається з мережі референційних ГНСС-станцій та відповідних їй комунікаційних ліній. Послуги цієї інфраструктури передбачають координатне забезпечення різної точності.

Висновки. Для подальшого вдосконалення та розвитку мереж ГНСС-спостережень потрібно враховувати такі аспекти: підвищення точності, забезпечення безпеки даних, розширення сфери застосувань, забезпечення надійності та стабільності функціонування. Щодо використання мереж ГНСС-спостережень для потреб оборони, можна зробити висновок про доцільність застосування сервісів Української постійно діючої (перманентної) мережі спостережень глобальних навігаційних супутникових систем для виконання геопросторової підтримки військ (сил).

Ключові слова: ГНСС-спостереження, геопросторова підтримка, референційні станції, RTK-технології.

Вступ

Мережі глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС) стали невід'ємною частиною сучасного світу, забезпечуючи точне та надійне визначення місцезнаходження на поверхні Землі. Спостереження за розвитком цих мереж стають особливо важливими в контексті стрімкого технологічного прогресу та зростання популярності різноманітних застосувань ГНСС, від авіації та мореплавства до автономних автомобілів і мобільних додатків. У сучасному світі розвиток технологій навігації та позиціонування критично важливий для багатьох сфер діяльності, включаючи транспорт, телекомунікації, сільське господарство, екологію, оборону та геодезію. Мережі ГНСС-спостережень, що базуються на супутникових системах навігації, стали ключовими інструментами для забезпечення точного визначення місцезнаходження та часу для мільйонів користувачів у всьому світі.

На сьогодні більшість європейських країн розробила мультифункціональні системи високоточного геоопозиціонування та створила мережі референційних станцій ГНСС, які керуються та управляються національними картографічними службами (Польща, Латвія, Литва, Естонія, Чехія, Білорусь, Словаччина, Молдова, Грузія). Ці мережі дозволяють отримувати координати об'єктів із сантиметровою точністю у режимі RTK (режим реального часу) (European Position Determination System, 2024). Поява технології RTK у розвитку систем точного супутникового позиціонування, разом зі спільним використанням нових телекомунікаційних можливостей,

сприяла широкому застосуванню її у різних галузях, таких як: навігація, геодезія, кадастр тощо.

Протягом останніх десятиліть спостерігається значний розвиток мереж ГНСС-спостережень, що привело до вдосконалення їхніх технічних характеристик, збільшення кількості активних супутників, підвищення точності та надійності отриманої інформації, а також розширення застосувань у різних галузях. Для виконання завдань у реальному часі користувачеві просто потрібно використовувати свій мобільний ГНСС-приймач, який з'єднаний з активною інфраструктурою за допомогою двостороннього зв'язку, доступного через GSM, GPRS або інші засоби передачі даних.

Очікується, що результати дослідження нададуть значний внесок у розуміння сучасного стану та перспектив розвитку мереж ГНСС-спостережень, а також сприятимуть подальшому вдосконаленню та оптимізації їхнього використання в різних галузях діяльності.

Метою дослідження є аналіз світового сучасного досвіду використання мереж ГНСС-спостережень та стан їхнього розвитку з урахуванням технічного, наукового, економічного та соціального значення. Це передбачає огляд літературних джерел і наукових публікацій, особливостей створення і функціонування мереж ГНСС-спостережень в Україні та надання рекомендацій для подальшого їх вдосконалення й розвитку, у тому числі для потреб сектору безпеки та оборони.

Основними **завданнями дослідження** є:

- огляд літературних джерел та наукових публікацій, що стосуються розвитку мереж ГНСС-спостережень;
- аналіз сучасного стану розвитку мереж ГНСС-спостережень;
- характеристика особливостей створення та функціонування Української постійно діючої (перманентної) мережі ГНСС-спостережень;
- формулювання рекомендацій для подальшого вдосконалення й розвитку мереж ГНСС-спостережень і перспектив їх використання для потреб сектору безпеки та оборони України.

Методи

Для аналізу сучасного стану розвитку мереж ГНСС-спостережень використовуються різноманітні методи, які надають точні та об'єктивні дані. Основними методами нашого дослідження є аналіз літератури та документів мереж ГНСС-спостережень. Було здійснено проведення системного огляду наукових публікацій, законодавчих актів та інших документів, що стосуються розвитку мереж ГНСС. Цей метод дозволяє зібрати та оцінити наявну інформацію про технічні, економічні, соціальні та інші аспекти розвитку мережі.

Методи дослідження сучасного стану розвитку мереж глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) є невід'ємною складовою аналізу та моніторингу геопросторових інфраструктурних систем. Ці методи дозволяють проводити комплексний аналіз різноманітних аспектів функціонування й ефективності мереж ГНСС-спостережень. Вони є важливим інструментом для наукових досліджень, що спрямовані на розуміння динаміки розвитку геопросторових систем, оцінювання їхньої точності, надійності та доступності, а також виявлення тенденцій у використанні сучасних технологій навігації. Ці методи передбачають аналіз геодезичних та астрономічних параметрів мереж, оцінювання якості та стійкості сигналів, дослідження впливу атмосферних явищ та інших природних чинників на точність навігаційних вимірювань. Вони також охоплюють аналіз використання інноваційних технологій і методів обробки даних для поліпшення ефективності та надійності мереж ГНСС.

Результати

Медернізація сучасної ГНСС-інфраструктури та створення на її основі мереж активних референцних станцій із високою швидкістю і низькою затримкою передачі даних спостережень сконцентрували увагу наукового співтовариства на найефективнішому використанні цих даних. Сучасні мережі ГНСС представляють значну доповнювальну можливість для інших геофізичних мереж (напр., сейсмічних, геодинамічних, гравіметричних), оскільки відрізняються високою точністю, чутливістю до тривалості періоду спостереження, простотою розгортання і здатністю виконувати вимірювання зміщень на локальному та глобальному рівнях.

Нові методи вимірювань та їхньої обробки забезпечують доступ до даних ГНСС і виведених із них продуктів зі зростаючою частотою дискретизації та скороченням часової затримки. Це сприяє значному розширенню сфери процесів, що підлягають дослідженню.

Для забезпечення більш точного визначення положення будь-якої точки, з точністю краще за 3–10 м, яка досягається за допомогою абсолютних систем ГНСС, багато країн світу розробили свої власні багатофункціональні системи високоточного позиціонування. У минулому десятилітті були встановлені мережі активних референцних станцій, які надавали поправки до ГНСС-спостережень у

реальному часі, а також дані для подальшої обробки. Одним із ключових етапів у розвитку національних мереж референцних станцій було створення європейської геодезичної системи ETRS89, яка вперше стала доступною для всієї Європи. Впровадження цієї референцної системи ґрунтується на функціонуванні мережі європейських постійних станцій (EPN), що є складовою міжнародної служби ГНСС – IGS (European Position Determination System, 2024).

Мультифункціональна супутникова система високоточного позиціонування є частиною навігаційних систем із базовими референцними станціями на землі. Ці системи доступні для використання адміністративними органами, державними та приватними структурами, а також окремими користувачами. Такі системи разом із базами ГС-даних та іншими геопросторовими даними все більше застосовуються в різних галузях людської діяльності.

Країни Європи, США, Австралія тощо досягли найбільш суттєвого просування у створенні та організації роботи інфраструктури мереж референцних станцій. Мережі активних референцних станцій були встановлені в країнах Західної Європи, таких як: Німеччина, Швеція, Швейцарія, Бельгія, Франція та інші. У той час як країни Центральної та Східної Європи не мали можливості негайно розгорнути подібні системи без практичної та фінансової підтримки.

Один із ефективних каталізаторів для впровадження систем високоточного позиціонування стало створення в 2001 р. нової структури – Європейської системи визначення позиції EUPOS (European Position Determination System). Наприклад, польська ГНСС-мережа ASG-EUPOS розпочала свою діяльність з 2008 р. (European Position Determination System, 2024). Вона налічує 94 референційні станції, із них 11 функціонують як GPS + GLONASS, а також два обчислювальні центри розташовані у Варшаві та Катовіцах. Обладнання та мережеве програмне забезпечення було встановлене компанією Trimble.

Чеська ГНСС-мережа CZEPOS має у своєму складі 26 станцій (3 центральні сервери та центр обробки даних у Празі) (Голінка, 2024). Мережа розпочала роботу в 2006 р. Станції мають обладнання та програмне забезпечення від компанії Leica Geosystems, а мережеве програмне забезпечення надається німецькою компанією Geo++. Із 2005 р. почала працювати Латвійська ГНСС-мережа LATPOS, яка має 19 ГНСС-станцій (4 центральні сервери та обчислювальний центр у Ризі). Технічне забезпечення на станціях надається компаніями Leica Geosystems та Trimble. Для операційної діяльності мережі використовується програмне забезпечення SpiderNet. Словенська служба визначення положення, яка називається SIGNAL, складається із 15 ГНСС-станцій рівномірно розташованих по всій території країни. Технічне забезпечення, яке встановлене на станціях, представлене двома виробниками: Trimble та Leica Geosystems. Мережева обробка здійснюється за допомогою програмного забезпечення GPSNet/RTKNet від Trimble (Голінка, 2024).

Додаткову інформацію про мережі цих та інших країн Центральної та Східної Європи можна отримати на офіційному вебсайті EUPOS (European Position Determination System, 2024). EUPOS – європейська громадська ініціатива, спрямована на створення у Центральній та Східній Європі однорідної інфраструктури, що ґрунтується на диференціальному методі DGNS. Ця інфраструктура технічно складається з мережі референцних GNSS-станцій та відповідних їй комунікаційних

ліній, а її послуги – це координатне забезпечення різної точності. Послуги, які пропонує ця мережа, застосовуються в різних випадках, коли необхідна точність від 3 м до 1 см у реальному часі та субміліметрова точність у режимі постобробки. Відповідальність за розвиток і діяльність мереж референцних станцій EUPOS лежить на державних організаціях національного рівня. Головними організаційними опорами в розвитку EUPOS є Міжнародний організаційний комітет (ISC) та Національний сервісний центр (NSC). Ці центри збирають всю необхідну інформацію для користувачів мережі і відповідають за розвиток та функціонування мережі. Мережі активних референцних станцій разом із їхніми сервісами в межах EUPOS уже діють або будуть розгорнуті в 18 країнах Центральної і Східної Європи. У кінцевому варіанті передбачається, що EUPOS охопить приблизно 25 % території Європейського Союзу і понад 60 % території всієї Європи. Сервіси EUPOS розроблені з метою забезпечення можливості виконання RTK-визначень в усій охопленій мережею області. Тому співпраця між сусідніми країнами-учасниками у цьому процесі дуже важлива.

Країни-учасниці EUPOS можуть отримати такі переваги від міжнародної співпраці:

- економічні та технічні переваги, що полягають у зменшенні витрат на розширення наземної інфраструктури активних референцних станцій з використанням уніфікованих стандартів, придатних для будь-якого їх застосування й охоплюють значну частину євразійського континенту;
- використання досягнень у технічних поліпшеннях та стандартизації;
- обмін досвідом, спільне використання накопичених знань та науково-технічна експертиза у спільноті EUPOS;
- передача практичного досвіду використання спеціальних застосувань ГНСС-інфраструктури, що були перевірені EUPOS;

- застосування референцних станцій у сусідніх країнах.

На сьогодні до спільноти EUPOS входять Польща, Боснія і Герцеговина, Болгарія, Сербія, Естонія, Угорщина, Латвія, Литва, Македонія, Молдова, Чехія, Чорногорія, Румунія, Словаччина, Україна, а також окрема федеральна земля Німеччини – Берлін.

Отже, при використанні мереж референцних станцій продуктивність визначення просторових координат може збільшитися в десятки разів, а витрати зменшаться в 2,5 раза. Основні критерії їх застосування базуються на таких характеристиках:

- можливість отримання точних координат (1-2 см) за рахунок врахування іоносферних і тропосферних затримок;
- швидке визначення координат (зазвичай < 10 с) у будь-якому місці, у межах і поза мережею;
- забезпечення високої надійності отримання координат (> 99,9 %) через контроль цілісності даних кожної референційної станції, мережі та попередження про помилки, а також резервування даних;
- неперервна робота цілодобово;
- захист конфіденційності інформації;
- можливість збільшення відстані між референційними станціями до 120 км і зони роботи з мінімальною кількістю станцій;
- поступове розширення покриття на різних територіях, таких як міста, райони тощо;
- забезпечення даними в різних форматах користувачів мережею.

Сучасні можливості супутникових технологій досить ефективні й універсальні, тому їх широко використовують під час вирішення геодезичних завдань найвищої точності. З урахуванням цього, необхідність у тимчасових базових пунктах, які раніше використовувалися за відносним методом під час ГНСС-спостережень, майже зникла. Створюються станції, що функціонують за принципами постійних станцій EUPOS (European Position Determination System) або IGS (International GNSS Service), і такі станції вважаються референційними, оскільки їхні координати ретельно визначаються, уточнюються та проводиться їх безперервний моніторинг. Однак, на відміну від "класичних" постійних станцій, референційні станції, які з'єднуються в мережу і використовуються для реалізації RTK-технології, перетворюються на активні станції. Це означає, що вони в реальному часі взаємодіють зі своїм обчислювальним центром. Саме через це виник новий термін "діючі референційні станції" та "діюча мережа станцій".

Отже, "класичні" пункти періодично (мінімум кожен годину) передають дані спостережень у відповідні центри зберігання та аналізу для їх подальшого статичного опрацювання (European Position Determination System, 2024). Отже, мережа активних референцних станцій, що використовує найсучаснішу RTK-технологію, є централізованою і максимально автоматизованою, забезпечуючи отримання об'єктивних даних про місцезнаходження об'єкта з точністю до сантиметра в єдиній системі координат. Вона також дозволяє вирішувати широкий спектр проблем, включаючи завдання у сфері оборони.

У геодезичному аспекті активна мережа референційних станцій є мережею згущення від мережі постійних станцій, хоча вона має відмінності у функціональності, точності, інфраструктурі та інших аспектах. Якщо головною геодезичною метою мережі IGS та її компонентів EPN (Європейська постійна мережа) спрямовані на підтримку всесвітньої референційної системи координат ITRS і її практичних реалізацій – ITRF (із використанням всіх доступних методів космічної геодезії) або IGB (за допомогою лише ГНСС), то завданням активних мереж референційних станцій як розширення мережі IGS/EPN є забезпечення користувачів координатами через поширення реалізацій загальноземних, регіональних, національних референційних систем на місцевий рівень.

Для стійких станцій наразі досягнута точність реалізацій ITRF/IGS становить 3–5 мм для координат і менше 1 мм/рік для швидкості їх зміни. Цей рівень точності можливий за певних умов розташування антени приймача і при стабільному режимі роботи станції протягом декількох років. Щодо точності мережі згущення, іншими словами, мережі активних референційних станцій, з урахуванням її розташування і конфігурації, розташування, стабільності кріплення та калібрування антен ГНСС-приймачів, тривалості при безперервній роботі тощо, різниця не повинна перевищувати 1-2 см. Це зумовлено фактом, що послуги мережі активних референційних станцій (включаючи технології RTK та віртуальних референційних станцій) мають забезпечувати користувачам, що здійснюють топографо-геодезичні роботи, точність визначення координат на рівні 3–5 см, а їх використання у звичайному статичному режимі – 2-3 см.

Інфраструктура мережі активних референційних станцій повинна мати відповідне програмне забезпечення, яке з використанням даних із таких станцій у режимі реального часу генерує мережевий розв'язок – основу всіх ГНСС-послуг для користувачів. Якість цих послуг забезпечується достовірністю опорних координат референційних

них станцій, яка контролюється мережевим програмним забезпеченням шляхом їх моніторингу, а також якісними спостереженнями на цих станціях.

Отже, для ефективної роботи мережі активних референційних станцій важлива технологія обробки ГНСС-спостережень для визначення та контролю їхніх координат.

Згідно зі ст. 11 Закону України "Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність" відповідальність за створення, розвиток і забезпечення в робочому стані Державної геодезичної та висотної геодезичної мережі, включаючи гравіметричну фундаментальну та першого класу, які мають необхідну щільність і точність для створення державних топографічних карт і планів, виконання завдань загальнодержавного, оборонного, науково-дослідного та іншого характеру покладається на загальнодержавні топографо-геодезичні та картографічні роботи (Верховна Рада України, 2023).

Відповідно до ст. 9 Міністерство оборони України керує проведенням топографо-геодезичних і картографічних робіт на території країни та веде картографування закордонних територій із метою забезпечення обороноздатності та безпеки України. Воно також здійснює контроль за якістю виконання таких робіт, результати яких використовують ЗС України (Верховна Рада України, 2023).

Пунктом 11 Порядку побудови Державної геодезичної мережі (далі – ДГМ) відповідно до Порядку, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 07 серпня 2013 р. № 646, геодезична (планова) мережа включає Українську постійнодіючу (перманентну) мережу спостережень глобальних навігаційних супутникових систем (УПМ ГНСС) та геодезичні (планові) мережі 1, 2 і 3 класу (Кабінет Міністрів України, 2013).

Згідно з п. 21 Порядку УПМ ГНСС забезпечує неперервне відтворення загальноземної та європейської геодезичних систем координат і редукацію результатів спостережень, координатні вимірювання на єдиний момент часу, з урахуванням релятивістських впливів припливів та інших рухів земної кори. Функціонування УПМ ГНСС забезпечується завдяки скоординованій діяльності відповідних органів виконавчої влади та Національної академії наук, використовуючи технічні засоби для спостереження за орбітальними угрупованнями навігаційних систем, таких як: Galileo, NAVSTAR GPS, ГЛОНАСС, призначені для задоволення потреб національної економіки та населення держави.

УПМ ГНСС охоплює:

- сталі станції спостережень глобальних навігаційних супутникових систем, на яких неперервно проводяться комплексні гравіметричні, астрономо-геодезичні, геофізичні та супутникові спостереження;
- станції спостережень глобальних навігаційних супутникових систем, які періодично функціонують і піддаються комплексним супутниковим, астрономо-геодезичним, гравіметричним та геофізичним спостереженням не рідше одного разу на п'ять років;
- центри оброблення даних, подібні до Центру геодезичних досліджень Науково-дослідного інституту геодезії і картографії, Головної астрономічної обсерваторії Національної академії наук та Центру контролю навігаційного поля ДКА.

Просторове розташування станцій УПМ ГНСС визначається методами супутникової геодезії в глобальній системі координат з відносною похибкою $\Delta p/p = 1 : 10^{-8}$ (Δp – середньоквадратична похибка визначення вектора p) за середньої відстані між ними 100–300 км.

У межах проєкту створення УПМ ГНСС як складової ДГМ на цей час Державною службою України з питань геодезії, картографії та кадастру виконуються заходи із забезпечення роботи станцій мережі УПМ ГНСС на всій території України (окрім тимчасово окупованих територій) та розгорнуто ряд онлайн-сервісів для визначення точного місцеположення.

Щодо історії розбудови мереж ГНСС-станцій, то перша в Україні мережа активних еталонних станцій – ZAKPOS була створена на території Закарпатської області в 2009 р. (ZAKPOS, 2024). Під час створення цієї мережі і під час її роботи було потрібно ухвалити основну систему координат (референцну систему) та встановити її згідно з національною системою координат УСК-2000. Ще на етапі розробки було визначено, що референційні станції ZAKPOS мають втілювати Європейську земну референцну систему (ETRS89) на території України.

Отже, активні референційні станції повинні стати пунктами концентрації цієї референційної системи на тій території, яку вони охоплюють. Протягом 2009–2011 років мережу ZAKPOS розширили на території прилеглих областей: Івано-Франківська, Чернівецька, Хмельницька, Рівненська, Львівська, Волинська, Тернопільська. У період 2010-2011 років були укладені договори про обмін даними з прикордонними країнами України: Румунією, Словаччиною, Угорщиною, Польщею, а пізніше (у 2013 р.) – з Молдовою. Практично до кінця 2012 року мережа ZAKPOS була визнана як мережа активних референційних GNSS-станцій Західного регіону України. Після проведення двосторонніх переговорів з іншими операторами референційних станцій щодо спільного використання даних спостережень, мережа покрила майже всю територію України своїми послугами, за винятком деяких крайніх районів північно-східного регіону та Криму.

Одночасно з розвитком мережі ZAKPOS активно розширювалась мережа еталонних ГНСС-станцій Державного космічного агентства України (ДКАУ), головним завданням якої було забезпечення системи координатно-часового і навігаційного сервісу України (СКНЗУ). Ця система була спроектована для досягнення в реальному часі точності визначення координат будь-якої точки приблизно одного метра по всій території країни, на відстані до 150 км від референційних станцій та сантиметрового рівня в радіусі 20 км навколо кожної станції. Не вдаючись до аналізу роботи мережі станцій ДКАУ, варто зазначити, що майже всі вони належали до мережі ZAKPOS і сприяли забезпеченню її послуг (ZAKPOS, 2024).

У 2012 р. з'явилися перші аналогічні еталонні станції Львівської політехніки (мережа GEONET), компанії "Навігаційно-геодезичний центр" (мережа NGCNet), а також групи компаній "Є.П.С.". На цей час їхня діяльність обмежується локальним рівнем (GEONET, NGCNet) або ж вони працюють лише для підтримки окремих станцій ("Є.П.С."). Як вже було вказано, за взаємною згодою переважна частина цих станцій залучена до мережевого обслуговування ZAKPOS для забезпечення клієнтам відповідних сервісів по всій території країни.

Мережу референційних станцій керують дистрибутори японської компанії TOPCON в Україні – компанія TNT-TPI (мережа TNT ГНСС Network, що складається з близько 50 власних станцій), а також управління мережею System.NET, що є відповідальністю українсько-швейцарської компанії – приватного акціонерного товариства "System Solutions".

У Головній астрономічній обсерваторії НАН України 16 жовтня 2014 р. було укладено Угоду про створення Національної об'єднаної мережі українських референційних

них станцій глобальних навігаційних супутникових систем. Національна мережа референцих станцій ГНСС була створена з метою впровадження та розвитку в Україні передових технологій та сервісів точного позиціонування і навігації. Ці технології забезпечують високоточні диференційні корекції для користувачів ГНСС у сфері оборони та національної безпеки, правопорядку і надзвичайних ситуацій, а також для наукових досліджень. Мережа об'єднала 78 постійних базових станцій, що забезпечило покриття високоточною коригувальною інформацією понад 90 % території країни.

До складу об'єднаної мережі входять: станції Системи координатно-часового та навігаційного забезпечення України, яка є частиною Державного космічного агентства України; ГНСС-станції, розміщені у межах Державної програми створення Державної служби єдиного часу та еталонних частот, що перебувають у власності Головної астрономічної обсерваторії Національної академії наук України; а також станції мережі активних референцих ГНСС-станцій "System.NET", які належать до ПрАТ "Систем Солюшнс" (Геодезична NRTK мережа..., 2024).

На сьогодні System.NET є найбільшою мережею базових станцій GNSS, розробленою на основі технологій швейцарської компанії Leica Geosystems (Геодезична NRTK мережа..., 2024). Наразі мережа складається з понад 300 станцій і програмного забезпечення Leica Spider. У 2019 р. адміністратором банку геодезичних даних став "Науково-дослідний Інститут геодезії і картографії". Цей інститут виконав геодезичну прив'язку постійних базових станцій мережі "System.NET" до Універсальної північної мережі глобальної навігаційної супутникової системи (УПМ ГНСС), як частину Державної геодезичної мережі (ДГМ), і надав їй статус геодезичної мережі спеціального призначення. Ця мережа отримала назву "Геодезична мережа спеціального призначення "System.NET"" (ГМСП "System.NET").

Одним зі значущих завдань операторів активних референцих ГНСС-станцій в Україні є розроблення технічних і нормативно-правових основ функціонування мереж. При цьому потрібно враховувати такі умови:

- контроль за виконанням сучасних стандартів у роботі операторів у сферах координатно-часового і навігаційного забезпечення;
- розроблення загальних технічних вимог до обладнання станцій, обробки даних та обміну інформацією між мережами, а також зберігання та накопичення даних тощо;
- узгодження діяльності операторів мереж з використанням технологій та сервісів точного позиціонування і навігації для досягнення національної безпеки та оборони, здійснення наукових досліджень та оптимального використання природних ресурсів для різних галузей економіки країни;
- укладання угод між операторами мереж для спільного використання інформації, зібраної на референцих станціях;
- утворення центрів збирання (аналізу) даних ГНСС, що надходять від усіх референцих станцій України;
- участь у міжнародній та транскордонній співпраці із зарубіжними операторами аналогічних ГНСС-мереж та центрами обробки даних.

Станом на січень 2022 року на території України працювало близько 400 (із них близько 200, що придбані за кошти держбюджету) постійно діючих станцій ГНСС, які задіяні в наданні послуг з визначення місцеположення.

За допомогою УПМ ГНСС вдається розв'язати такі спільні проблеми узгодженості між мережами:

- впроваджено єдину систему координат функціонування ГНСС-мереж;
- впроваджено уніфіковані налаштування для переходу до Державної геодезичної референцих системи координат УСК-2000 із систем координат мереж ГНСС та WGS-84;
- визначено єдиний набір координат цих станцій;
- реалізовано централізований контроль якості та стабільності їх координат.

Дискусія і висновки

Аналіз сучасного стану розвитку мереж ГНСС-спостережень підтверджує їхню важливість для сучасного світу та вказує на потенціал для подальшого зростання та вдосконалення. Проте для досягнення цих цілей необхідно продовжувати інвестування в дослідження та розвиток, забезпечуючи таким чином їхню сталість та ефективність у майбутньому.

Основні рекомендації для подальшого вдосконалення та розвитку мереж ГНСС-спостережень містять такі аспекти:

1. Підвищення точності.

Вдосконалення технічних характеристик супутникових сигналів та алгоритмів обробки даних для забезпечення більшої точності позиціонування. Розвиток інтегрованих систем із використанням додаткових датчиків (напр., інерціальних вимірювачів) для покращення точності та стійкості в умовах обмеженої доступності сигналів.

2. Забезпечення безпеки даних.

Впровадження ефективних методів шифрування та захисту даних для запобігання несанкціонованому доступу та злому системи. Розробка стандартів та політик збереження конфіденційності даних, які враховують вимоги до захисту персональної інформації.

3. Розширення застосувань у різних сферах діяльності.

Співпраця з промисловими галузями (авіація, автомобільна промисловість, сільське господарство тощо) для розробки та впровадження спеціалізованих рішень, що враховують їхні потреби. Розробка інтегрованих систем та платформ, які дозволяють ефективно використовувати дані ГНСС для різноманітних цілей, включаючи моніторинг довкілля, геодезію, транспортні системи тощо.

4. Надійність та стабільність.

Вдосконалення інфраструктури та методів управління, що забезпечують стабільність та надійність роботи мереж ГНСС навіть у складних умовах (напр., в умовах поганих погодних умов або в урбанізованих районах). Регулярне проведення аудитів та тестувань систем із метою виявлення та усунення можливих проблем та вразливостей. Ці рекомендації можуть сприяти подальшому вдосконаленню та розвитку мереж ГНСС-спостережень, що, у свою чергу, допоможе впровадженню більш ефективних та інноваційних застосувань цих технологій у різних сферах діяльності.

Щодо застосування мереж ГНСС-спостережень для потреб оборони, у контексті стратегічного планування ЗС України важливо активно розглядати майбутні перспективи та розвиток систем навігації з урахуванням широкого спектра факторів, які впливають на військові операції. ЗС України потребують надійних та стійких систем навігації, які працюють в умовах екстремального та ворожого середовища. Це вимагає високої якості сигналу, захисту від електромагнітних перешкод та кіберзагроз, а також здатності працювати в умовах обмеженого доступу до супутників.

Нові технології у сфері систем навігації, такі як: покращені методи обробки сигналів, алгоритми штучного інтелекту, використання широкосмугових систем передачі даних та інші інновації, можуть значно підвищити ефективність та надійність військових операцій. Важливо, щоб системи навігації могли ефективно взаємодіяти з іншими військовими системами, такими як: системи зв'язку, інформаційні системи та системи бойової управління. У зв'язку з глобальною природою військових операцій важливо співпрацювати з іншими країнами щодо розвитку та стандартизації систем навігації, що дозволить забезпечити сумісність та інтероперабельність між різними військовими силами.

За результатами вивчення можливостей УПМ ГНСС можна зробити висновок щодо доцільності застосування сервісів цієї мережі для виконання геопросторової підтримки військ (сил), що потребує розроблення нормативно-технічного та нормативно-правового забезпечення її використання.

Внесок авторів: Олександр Коренець – методологія, формальний аналіз, написання – перегляд і редагування; Анатолій Лукіянчук – концептуалізація, аналіз джерел, написання – оригінальна чернетка.

Oleksandr KORENETS, PhD (Geogr.)
ORCID ID: 0000-0001-6352-9591
e-mail: oleksandr.korenets@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Anatolii LUKIIANCHUK, Senior Researcher
ORCID ID: 0000-0002-5757-6196
e-mail: anatolii.lukiianchuk@knu.ua
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

Список використаних джерел

- Верховна Рада України. (2023). *Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність* (Закон України редакція від 08.06.2023 № 353-XIV). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>
- Геодезична NRTK мережа System.NET. (2024). *System Solution*. <https://systemnet.com.ua/>
- Голінка, М.В., & Валько Л.В. (2024). *Національні мережі зсування*. <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/9113>
- Кабінет Міністрів України. (2013). *Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України "Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність"* (постанова від 7 серпня 2013 р. № 646). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-n#Text>
- European Position Determination System. (2024). <http://www.eupos.org>
- ZAKPOS. (2024). *Мережа референціальних GNSS станцій*. <http://www.zakpos.zakgeo.com.ua>

References

- Cabinet of Ministers of Ukraine. (2013). *Some issues of implementation of the first part of Article 12 of the Law of Ukraine "On topographical, geodetic and cartographic activities"* (Decision dated August 7, 2013 No. 646) [in Ukrainian]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/646-2013-n#Text>
- European Position Determination System. (2024). <http://www.eupos.org>
- Geodetic NRTK Network System.NET. (2024). *System Solution* [in Ukrainian]. <https://systemnet.com.ua>
- Golinka M.V., & Valko L.V. (2024). *National Condensation Networks* [in Ukrainian]. <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/9113>
- Verkhovna Rada of Ukraine. (2023). *On topographical, geodetic and cartographic activities* (Law of Ukraine, edition dated 06.08.2023 No. 353-XIV) [in Ukrainian]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>
- ZAKPOS. (2024). *Network of reference GNSS stations* [in Ukrainian]. <http://www.zakpos.zakgeo.com.ua>

Отримано редакцією журналу / Received: 29.04.24

Прорецензовано / Revised: 10.05.24

Схвалено до друку / Accepted: 13.05.24

ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF DEVELOPMENT OF GNSS-OBSERVATION NETWORKS

Background. The purpose of the study is to carry out a scientific analysis of the current state of development of GNSS observation networks. Through the well-founded use of various methods of analysis, the work highlights key aspects of the functioning of these networks, current development trends and identifies possible prospects for their further use, including for the needs of the Armed Forces of Ukraine.

Methods. The main methods of our research are the analysis of literature and technical documents of GNSS observation networks. A systematic review of scientific publications, legislative acts and other documents related to the development of GNSS networks was conducted.

Results. A significant number of countries have developed their own multifunctional high-precision positioning systems. The creation of the European terrestrial reference system ETRS89, which is available around Europe, became one of the important stages in the development of national networks of reference stations. One of the effective catalysts for the introduction of high-precision positioning systems was the creation of a new structure – the European Positioning System EUPOS. This is a European public initiative aimed at creating a uniform infrastructure in Central and Eastern Europe based on the DGNS differential method. This technical infrastructure consists of a network of reference GNSS stations and corresponding communication lines. The services of this infrastructure include coordinate support of various accuracy.

Conclusions. For further improvement and development of GNSS observation networks, the following aspects should be taken into account: increasing accuracy, ensuring data security, expanding the scope of applications, ensuring reliability and stability of functioning. Regarding the use of GNSS observation networks for defense needs, it is possible to conclude on the expediency of using the services of the Ukrainian permanently operating (permanent) observation network of global navigation satellite systems for geospatial support of troops (forces).

Keywords: GNSS observation, geospatial support, reference stations, RTK technologies.

Автор заявляє про відсутність конфлікту інтересів. Спонсори не брали участі в розробленні дослідження; у зборі, аналізі чи інтерпретації даних; у написанні рукопису; в рішенні про публікацію результатів.

The author declares no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses or interpretation of data; in the writing of the manuscript; in the decision to publish the results.