

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет природокористування
Факультет землевпорядкування та туризму
Кафедра геодезії і геоінформатики

Кваліфікаційна (дипломна) робота
освітнього ступеня «Магістр»
на тему: **«ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ ТА
РОЗВИТКУ GNSS МЕРЕЖ»**

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Виконав: студент групи ЗВ-63

Смолінський В. Б.

Науковий керівник: к.е.н., доцент

Рижок З. Р.

Рецензент _____

Львів 2024

УДК 528.31

Теоретичні та практичні аспекти створення та розвитку GNSS мереж. Смолінський В. Б. Кваліфікаційна робота. Кафедра геодезії і геоінформатики. Львів, Львівський національний університет природокористування, 2024 р.

61 с. текстової частини, 4 таблиці, 11 рисунків, 36 джерел бібліографічного списку.

У дипломній роботі розкрито теоретичні засади побудови GNSS мережі, функціонування міжнародних систем відліку, особливості глобальних та регіональних баз GNSS даних, національної GNSS мережі, представлено аналіз інфраструктури національної GNSS МЕРЕЖІ, можливості згущення Державної геодезичної мережі за допомогою GNNS спостережень, обґрунтовано методику визначення координат пункту Збиранка Державної геодезичної мережі, відображено характеристику мережі референцних станцій Geoterrace.

Представлено послідовність дій та результат визначення координат пункту Державної геодезичної мережі Збиранка методом GNSS спостережень з метою порівняння результатів значень координат за допомогою методу одержання даних від 3-ох референцних станцій – Geoterrace, Zakpos та System.Net.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПОБУДОВИ GNSS МЕРЕЖІ	9
1.1. Теоретичні основи функціонування міжнародних систем відліку	9
1.2. Глобальні та регіональні бази GNSS даних	14
1.3. Національні GNSS мережі	21
2. АНАЛІЗ ІНФРАСТРУКТУРИ НАЦІОНАЛЬНОЇ GNSS МЕРЕЖІ	26
2.1. Аналіз GNSS інфраструктури	26
2.2. Можливості згущення Державної геодезичної мережі за допомогою GNNS спостережень	30
2.3. GNSS станції та пункти Державної геодезичної мережі	32
3. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПУНКТУ ДЕРЖАВНОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ	38
3.1. Характеристика мережі референцних станцій Geoterrace	38
3.2. Методика встановлення станцій GNSS мережі Geoterrace	39
3.3. Визначення координат пункту Державної геодезичної мережі методом GNSS спостережень	44
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	47
5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	51
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58

ВСТУП

GNSS – це супутникова навігаційна система, призначена для позиціонування об'єктів, визначення їхнього положення в просторі, тобто їхніх координат. 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.

Системи GNSS складаються з 2-ох компонентів, а саме космічного і наземного. Принцип роботи такої системи полягає у вимірюванні відстані від антени об'єкта до штучного супутника Землі. Знаючи відстань до кількох супутників, положення яких відоме з достатньою точністю, GNSS система обчислює положення об'єкта за допомогою звичайних геометричних побудов.

Для підвищення точності позиціонування з кількох метрів до кількох сантиметрів у багатьох країнах створено системи наземних маяків та інформаційні радіосистеми для передавання диференціальних поправок користувачам. Диференціальні поправки передаються з гео стаціонарних супутників таких, як WAAS, EGNOS, MSAS, або з наземних базових станцій.

Найбільша точність досягається при використанні RTK корекції даних з наземних базових станцій, що дає змогу істотно розширити зону позиціонування за рахунок збільшення зони покриття мобільних мереж, де можливе приймання сигналів GSM/GPRS, а також там, де є доступ до інтернету за іншими каналами зв'язку. Це також дає змогу уникнення істотних помилок у точці відліку, підтримки єдиної міжнародної системи координат, безпосередньої роботи в потрібній системі координат, зниження витрат на обладнання, ведення безпосереднього контролю точності під час вимірювань, підвищення продуктивності праці, використання додаткових сервісів з пост обробки вихідних даних у форматі RINEX, використання згенерованих віртуальних опорних точок для пост обробки кінематичних вимірювань, автоматичного опрацювання даних та оцінки їх точності.

Сьогодні позиціонування, що включає в себе ідентифікацію, визначення координат об'єкта за допомогою супутникових технологій відіграє важливу роль у найрізноманітніших сферах практичної діяльності людини, як-от сільськогосподарські роботи, геоінформаційні системи, кадастрові та геодезичні вишукування. Це стало можливим завдяки унікальним характеристикам точності, надійності сучасних технічних засобів, розвитку методики вимірювань.

На практиці однією з найпоширеніших технологій залишається метод відносного позиціонування, який за своїми характеристиками точності поділяється на використання диференціального режиму (differential GPS, або DGPS) і кінематичного режиму в реальному часі (RTK). В обох режимах мобільний приймач – ровер використовує GNSS приймач у точці з відомими координатами, як опорний пункт для корекції власних вимірів. В режимі DGPS для отримання координатних рішень використовують тільки кодові вимірювання на основі сигналів супутників GNSS.

В режимі RTK до процесу також залучаються високо точні фазові вимірювання. За таких умов, сумарна помилка у вирішенні значень координат може становити менше одного метра в режимі DGPS і до кількох сантиметрів у режимі RTK. При цьому, в режимі RTK приймач ровера має володіти функціональними можливостями для розв'язання задачі спільного опрацювання двох доволі великих потоків вимірювальних даних, до яких відносять власні вимірювання та вимірювання базового приймача на швидкості їхнього приймання. Поліпшення функціональності приймачів-роверів не минуче призводить до значного зростання їхньої ринкової вартості, що на практиці робить технологію RTK менш доступною для застосування широким колом користувачів.

Функціональність режиму RTK ґрунтується на таких принципах, коли приймач ровера виконує вимірювання в заданих точках простору, безперервно передає дані вимірювань на модем у базовому комплекті за допомогою контролера з модемом (PDA). Вихід базового GNSS-приймача під'єднано до персонального комп'ютера, який синхронізується з приймачем ровера для запису

власних вимірів, передачі їх на персональний комп'ютер. Спеціальне програмне забезпечення приймає, архівує вимірювання, а також виконує їхнє спільне опрацювання, видаючи на виході необхідні результати RTK рішень згідно з координатами приймача ровера.

У реальних умовах точність позиціонування сильно залежить від впливу перешкод, відбитих сигналів. Тому, коли говорять про точність RTLS – системи позиціонування в реальному часі, то зазвичай наводять імовірнісні характеристики надійності. Щоб гарантувати проведення позиціонування в реальному часі, часовий інтервал між вимірами має бути таким, щоб об'єкт рухався з типовою для нього швидкістю і встигав подолати відстань, яка не перевищує подвоєну точність позиціонування.

Сьогодні існують мережеві системи, які використовують GNSS приймачі у мережі стаціонарно встановлених опорних станцій, де одразу отримують RTK поправки до вимірювань через GSM, або GPRS з'єднання. Ця послуга дає змогу за сприятливих умов визначати місце розташування за лічені секунди з точністю 10-20 мм у площині та 15-30 мм за висотою. Крім того, до переваг використання мережі GNSS станцій відносять відсутність необхідності в фахівцях з обслуговування станцій, придбанні базової станції, охороні базової RTK станції, не обмеженої доступності, якщо послуга платна. Це відкриває широкі можливості для практичного застосування режиму RTK у різних галузях і сферах діяльності, для розв'язання кадастрових завдань, а також для моніторингу об'єктів нерухомості, проведення геодезичних робіт.

1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПОБУДОВИ GNSS МЕРЕЖІ

1.1. Теоретичні основи функціонування міжнародних систем відліку

Проблема співіснування класичних геодезичних мереж і систем відліку із застосуванням сучасних супутникових технологій передбачає:

- адаптацію, або заміну геодезичної системи відліку;
- безперервність топографічної та геодезичної інформації, накопиченої протягом багатьох років, або збереження даних їх базової обробки;
- перебудова геодезичної мережі [21].

З впровадженням технології визначення координат за допомогою базової (опорної) мережі GNSS станцій спостереження формується визначена заздалегідь за середньою квадратичною помилкою допустима точність для взаємного положення на рівні 1 см, або менше щодо спостережень на опорній станції.

Вся мережа таких станцій є підключеною до наземної системи відліку ITRS в останній версії (ITRF2008), де їх початкові координати базуються на загальноєвропейській системі відліку із середньою квадратичною похибкою 1-2 см.

Для практичного застосування результатів супутникових вимірювань при вирішенні завдань з визначення координат використовують нову модифіковану реконструйовану національну геодезичну систему координат, яка повинна бути безпосередньо пов'язаною з системою ETRS89 / ETRF2000.

Водночас, схема створення національної GPS системи передбачає:

- безперервну роботу ряду постійних GPS станцій, які є компонентами мережі IGS;
- періодичне визначення координат точок в мережі GPS станцій, які не працюють в постійному режимі;

- одержання спостереження внаслідок роботи постійних і не регулярних обсерваторій, що є об'єднаними в єдину систему, де остаточні координати представлені в обраній епосі спостережень [22].

Система відліку Землі ITRS / ITRF – це глобальна наземна система відліку, що визначається на основі комбінації рівномірно оброблених часових рядів спостережень VLBI, SLR, DORIS і GNSS, де основну увагу зроблено на:

- аналізі часових рядів для координат станції,
- дослідження області обробки не лінійних переміщень станції,
- розробці вдосконалених комбінованих методів.

Земна система координат включає в себе інформацію про координати станцій, швидкість руху штучних супутників Землі та є визначеною одночасно з параметрами орієнтації Землі, впровадженням небесної системи відліку.

Наземна система відліку надає відомості про набір координат деяких точок, розташованих на поверхні Землі. Їх можна використовувати для вимірювання тектоніки плит, регіонального опускання, або навантаження з метою представлення параметрів Землі під час вимірювання її обертання в космосі.

Це обертання вимірюється відносно системи відліку, прив'язаної до зоряних об'єктів, що називається небесною системою відліку. IERS було створено небесну систему відліку та ICRF – наземну систему відліку. ITRF з'єднують між собою ці дві системи та забезпечують необхідною інформацією для порівняння спостережень і результатів з різних місць.

Сьогодні для обчислення точних координат використовують 4-ри основні геодезичні методи: GPS, VLBI, SLR і DORIS. Оскільки, GNSS мережа оснащена інструментами цих методів постійно розвивається, то зрозуміло, що період доступних даних збільшується з часом, а ITRF постійно оновлюється [23].

Усі ці реалізації ITRF включають в себе інформацію про положення та швидкості станцій, де моделюють вікові зміни земної кори, що дозволяє використовувати їх для порівняння спостережень за різні епохи. Усі вищі частоти зсувів GNSS станцій можна отримати за допомогою IERS.

Міжнародна наземна система відліку (ITRS) – це всесвітня система просторового відліку, яка обертається разом із Землею в її добовому русі в просторі.

IERS – відповідає за надання глобальних супутникових даних для астрономічних, геодезичних, геофізичних вимірювань, що контролює реалізацію ITRS, яка виробляє IERS ITRS Product Center (ITRS-PC) під назвою International Terrestrial Reference Frames (ITRF). Координати ITRF були отримані шляхом поєднання окремих рішень TRF, обчислених аналітичними центрами IERS з використанням методів космічної геодезії, зокрема GPS, VLBI, SLR, LLR і DORIS. Всі вони використовують мережі станцій, розташованих на сайтах, що охоплюють всю Землю.

Реалізація ITRF 2014 (рис. 1.1) задається:

- координатами станцій та швидкостями їхньої зміни;
- координати на обрану референцну епоху;
- відомими параметрами трансформації між останньою реалізацією і попередніми реалізаціями [30].

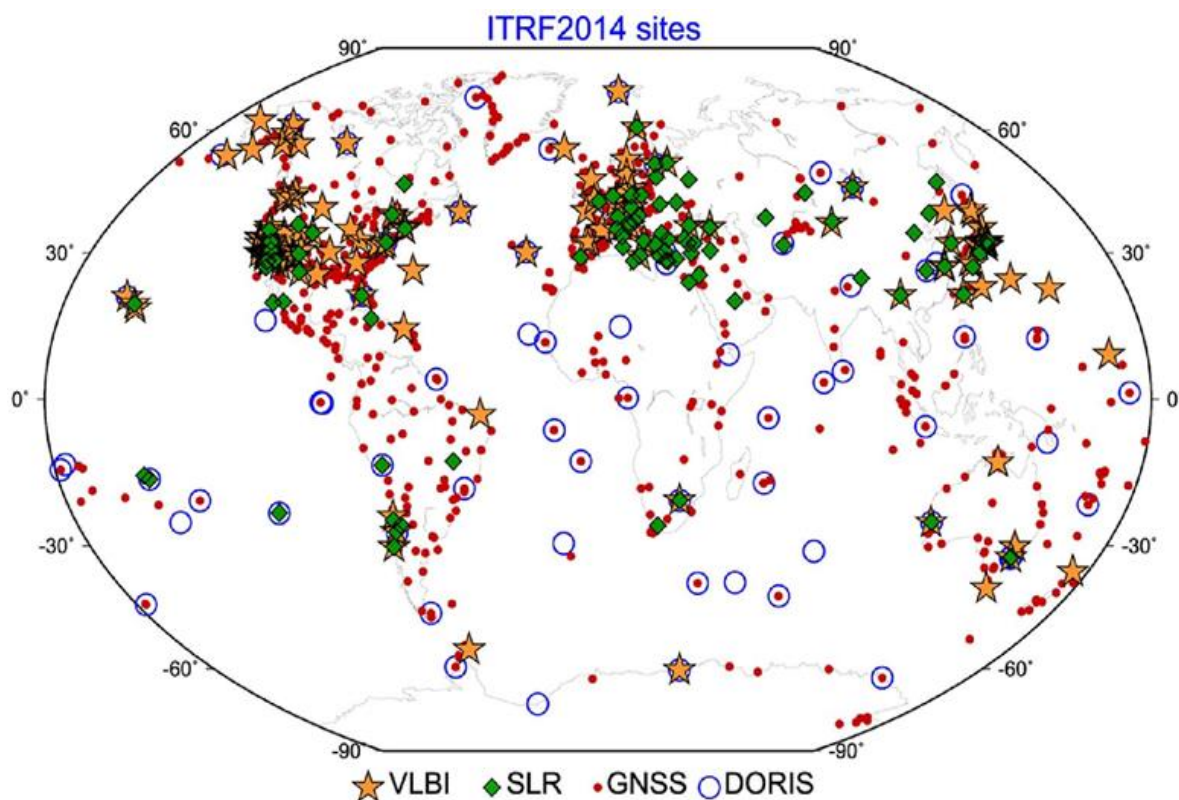


Рис. 1.1. Міжнародна система відліку ITRF 2014.

На рис. 1.1 проілюстровано повну мережу ITRF2014, що складається з 1499 станцій, розташованих у 975 місцях, де приблизно 10 % з них є розташованими разом із 2-ма, 3-ма, або 4-ма різними способами визначення координат.

ITRF2014 є новою реалізацією Міжнародної наземної системи відліку. Дотримуючись процедури, яка вже використовується для формування ITRF2005 та ITRF2008, ITRF2014 використовує, як вхідні дані часові ряди позицій станцій та EOP, надані технічними центрами 4-ох космічних геодезичних методів, до яких належать VLBI, SLR, GNSS та DORIS. На основі повністю перероблених рішень 4-ох методів очікується, що ITRF2014 буде покращеним рішенням у порівнянні з ITRF2008.

При обробці ITRF2014 введено два нові введення, до яких належать:

1. річні та піврічні терміни оцінювання для станцій з достатніми часовими проміжками застосування 4-ох методів під час процесів укладання відповідних часових рядів;

2. моделі PSD були визначені, шляхом підгонки даних GNSS/ GPS на основних місцях землетрусів GNSS/ GPS. Потім їх було застосовано до 3-х інших методів на майданчиках EQ Co-location [30].

Стратегія, що є прийнятою для створення ITRF2014, складається з наступних кроків:

- застосування мінімальних обмежень однаково до всіх слабо обмежених рішень, що це стосується тижневих рішень SLR;
- застосування умов No-Net-Translation і No-Net-Rotation до рішень IVS, наданих у формі нормального рівняння;
- використання рішення з мінімальними обмеженнями, що стосується щотижневих рішень IGS та IDS;
- формування довго строкових рішень для кожного методу TRF + EOP, розставляючи часові ряди, вирішуючи позиції станцій, швидкості, EOP, річні та піврічні сигнали, параметри перетворення для кожного щоденного, або тижневого рішення відносно кожного у процесі:

✓ станцій з достатніми проміжками часу, коли оцінюються річні та піврічні сигнали;

✓ визначення поправок моделі PSD, що були застосованими перед побудовою нормального рівняння накопичення часових рядів;

- визначення та відхилення викидів, використовуючи підхід покроково-лінійної функції, а також моделі.

- комбінування сукупних рішень для кожної техніки, додаючи місцеві зв'язки в місцях спільного розміщення [26].

Остаточне рішення ITRF2014 включає в себе положення станцій, швидкості та EOP. Водночас, варто звернути увагу, що EOP починаються на початку 80-их з VLBI і SLR, тоді як внесок DORIS починається з 1993 р., а GPS – з 1994 р. [30]/

На рис. 1.2 відображено методику реалізації референцних систем координат.



Рис. 1.2 – Методика реалізації референцних систем координат.

Причинами зміни координат в ITRF є:

1. лінійний рух:

- тектонічний рух – в основному горизонтальний;
- пост-льодовикова реакція, зокрема горизонтальна та вертикальна, або льодовиково-ізо статичне вирівнювання (GIA);

2. не лінійний рух:

- сезонний – річний, піврічний та міжрічний, який є викликаним ефектами навантаження;
- зміщення та розриви, що можуть бути спричиненими землетрусами, вулканами тощо;
- пост-сейсмічні деформації [22].

1.2. Глобальні та регіональні бази GNSS даних

Глобальна навігаційна супутникова система (GNSS) – це сучасний термін, що використовують для опису різних супутникових навігаційних систем, таких як GPS, ГЛОНАСС, Beidou та Galileo. Ще в другій половині 20-го століття на основі глобальної системи позиціонування (GPS) було створено високо точну міжнародну наземну систему відліку (ITRF) за допомогою навігації, позиціонування GPS і, частково, ГЛОНАСС, що пов'язано з точним розташуванням на поверхні Землі, з безпрецедентною точністю проведення досліджень з обертання Землі, переміщення геоцентру, зміни гравітаційного поля в часі, визначення траєкторій, визначення атмосферних, гідрологічних та багатьох інших наукових проблем в науках про землю, у т. ч. й дистанційного зондування.

Розробка наступного покоління багато частотних і мультисистемних GNSS-систем, включала в себе вдосконалені GPS-IIIF і GPS-III США, оновлену ГЛОНАСС Росії, навігаційну систему Galileo Європейського Союзу і систему Beidou Китаю, що відкривають додаткові можливості для реалізації досліджень земних систем з використанням GNSS технологій [29].

У загальному випадку для високо точного визначення координат необхідно використовувати GNSS-вимірювання (рис. 1.3), що отримані в результаті оцінки затримки часу для поширення навігаційного сигналу по фазі несучих коливань, які являються результатом вимірів поточних навігаційних параметрів, а саме кодової та фазової псевдо відстані [34].

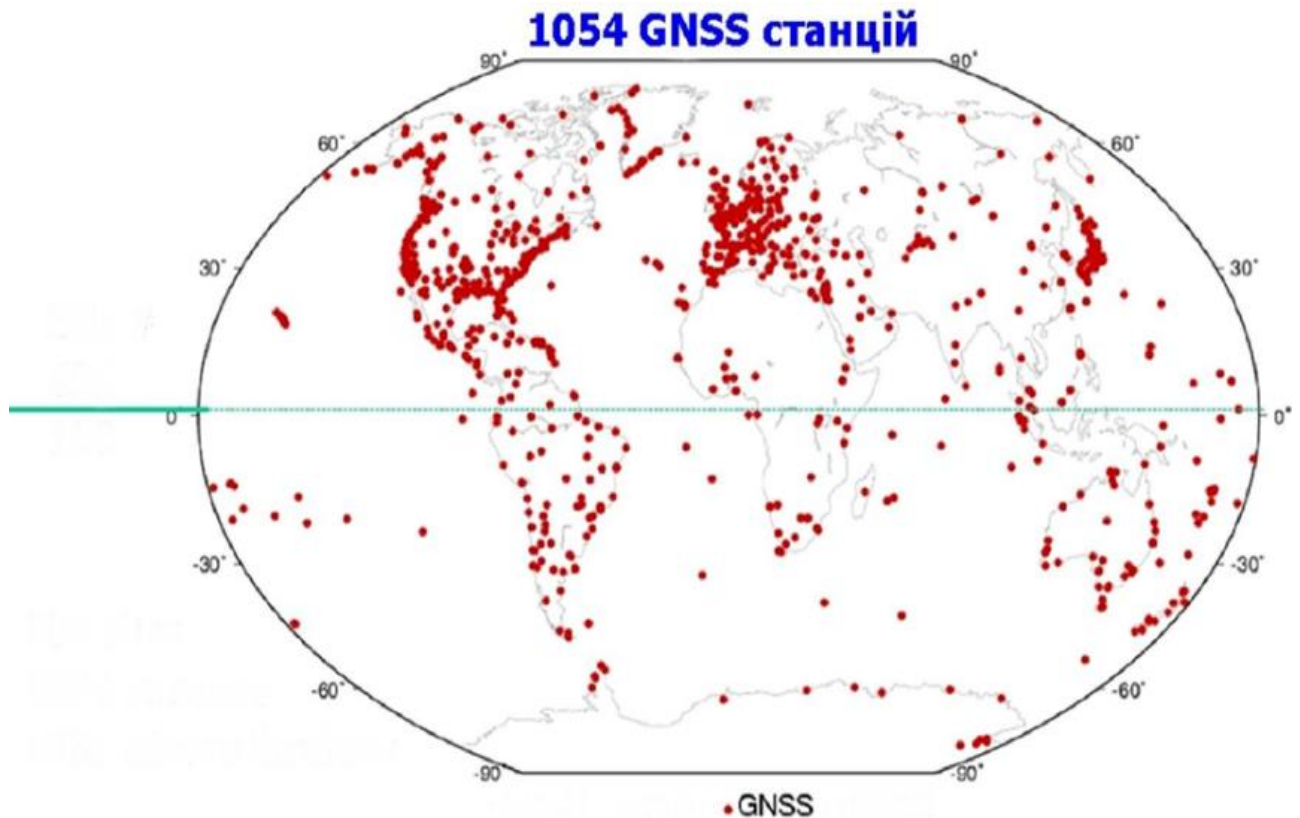


Рис. 1.3. – Загальносвітова мережа GNSS станцій спостережень.

Результатом GNSS вимірювань являються геоцентричні просторові координати $-X, Y, Z$, які потім перетворюють в еліпсоїдні координати $-B, L$, а також еліпсоїдну висоту $-H$. Геоцентричні просторові координати визначають на основі опрацювання навігаційної інформації, що міститься у RINEX-файлах – Receiver Independent Exchange Format.

RINEX – це універсальний, не залежний формат даних про всю вихідну інформацію, що безпосередньо надходить від супутникових приймачів різних навігаційних систем та одночасно фіксується наземними GNSS-приймачами.

Основними навігаційними системами є:

1. GPS – Global Positioning System,

2. ГЛОНАСС – Глобальна Навігаційна Супутникова Система,
3. BeiDou – BeiDou Navigation Satellite System,
4. Galileo.

Кожна з цих систем має свою опорну координатну основу – геоцентричний еліпсоїд, в якій вона працює, зокрема система GPS, що використовує параметри еліпсоїда WGS84 – World Global 40 System, ГЛОНАСС – Параметри Землі 1990, BeiDou – China Geodetic Coordinate System, а Galileo – Galileo Terrestrial Reference Frame [28].

Процес опрацювання даних з RINEX-файлів у спеціалізованому програмному забезпеченні першо чергово спрямований на те, щоб отримати координати в наземній геоцентричній системі. Прикладами таких наземних референцних систем є міжнародна (глобальна) система ITRS/ITRF – International Terrestrial Reference System/Frame, європейська (регіональна) ETRS/ETRF – European Terrestrial Reference System/Frame та українська (національна) УСК2000 – Українська система координат.

Зрозуміло, що існує чимало інших версій наземних систем, які найкраще є адаптованими до забезпечення геодезичних робіт у різних частинах планети. У той же час, початкові розв'язки для наземних систем координат задаються у декартовій системі просторових координат. Для того, щоб отримати еліпсоїдні координати рекомендовано використовувати перетворення від ITRS/ITRF та ETRS/ETRF у геодезичну систему відліку GRS80 – Geodetic Reference System 1980, а для системи УСК2000 – як геодезичну основу використовують референц-еліпсоїд Красовського [24].

Необхідну роботу всіх супутникових, наземних систем координат забезпечують міжнародні служби, організації, що займаються постійним моніторингом на базі глобальних, регіональних, національних мереж GNSS-станцій. Основним органом управління такими процесами є Міжнародна GNSS-служба – International GPS Service (IGS). Вона розпочала свою офіційну діяльність з 1994 р., що є спрямованою на надання найкращих даних, продуктів, послуг глобального позиціонування, для підтримки високо точних

GNSS-мереж, програм, які є пов'язаними із науковою, інженерною діяльністю. Відповідна база даних IGS накопичує інформацію від різних аналітичних центрів обробки, операторів станцій, мереж, робочих груп, пілотних проєктів. Станом на 2017 р. глобальна IGS-мережа налічувала більше, як 500 GNSS-станцій [27].

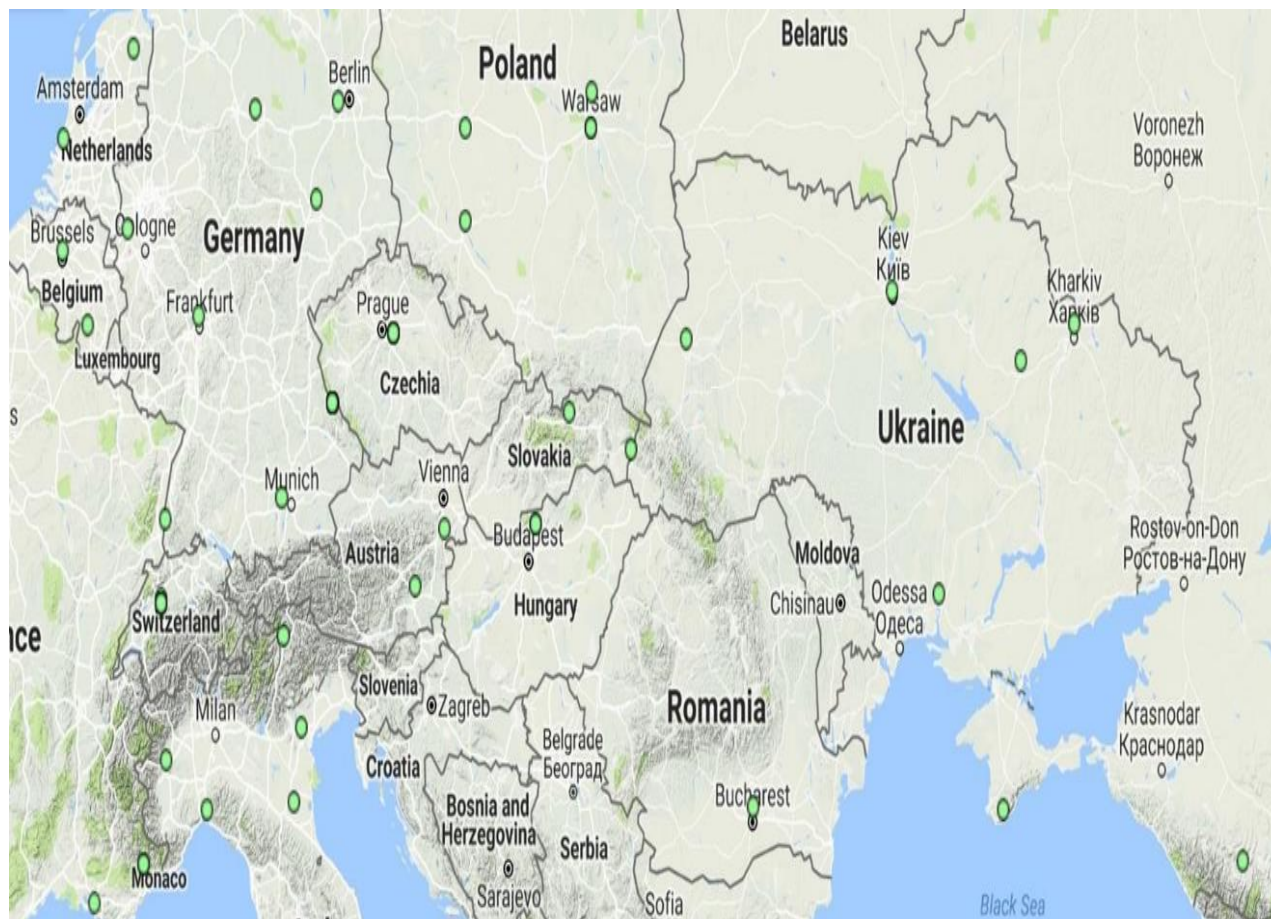


Рис. 1.4 – International GPS Service (IGS) мережа на території Європи.

На території ЄС найбільшою є мережа постійних GNSS-станцій EPN – EUREF Permanent Network, які є встановленими максимально рівно мірно по всьому європейському континенту. Центральне бюро EPN, виконує свою повсякденну координацію мережі, щоб забезпечувати зв'язок між регіональними операторами станцій, центрами обробки даних, аналітичними центрами, а також підтримує інформаційну систему EPN [28].

Спостерігаємо, що протягом останніх років з'явилися нові мульти GNSS дані, нові формати RINEX форматів, збільшилося використання GNSS-даних у реальному часі, створено новий формат обміну метаданими – GeodesyML. З цією

метою служба EPN є спрямованою на перевірку, надання користувачам доступу до метаданих станцій EPN-мережі, що здійснює відстеження доступності, затримок, якості всіх наборів даних. Сьогодні Європейська мережа складається з понад 330-ти GNSS-станцій [34].



Рис. 1.5 – Європейська перманентна мережа (EPN).

Українським представником IGS та EPN є мережа УПМ ГНСС – Українська постійна мережа Глобальних Навігаційних Супутникових Систем [13]. На разі відповідна мережа УПМ ГНСС знаходиться в процесі розроблення, удосконалення з метою практичної реалізації для забезпечення безперервного відтворення загально земної, європейської систем координат для забезпечення можливості редукування результатів GNSS-спостережень, визначення координат на єдину епоху з урахуванням релятивістських ефектів припливних, інших рухів земної кори.

УПМ ГНСС – це окрема складова Державної геодезичної мережі, яка призначена для вирішення високо точних наукових, інженерних завдань, надання користувачам, які працюють у сфері координатного забезпечення, можливості для практичного отримання координат будь-якої точки на поверхні Землі, або в навколишньому просторі, доступному для супутникових технологій, з достатньою точністю та ефективністю [19].

Сьогодні частину станцій УПМ ГНСС включено у мережу IGS та EPN. На цих станціях безперервно проводять комплексні супутникові, гравіметричні, астрономічні, геодезичні, геофізичні спостереження, які опрацьовують у центрах оброблення інформації. Для майбутньої реалізації УПМ ГНСС планується використовувати 2-ох ранговий принцип системи, що полягає у тому, щоб 20 % від усіх наявних локальних GNSS-мереж України повинні входити до її складу, як основні, а решта 80 % працювати, як суто національний сегмент. У результаті, основні станції повинні забезпечити рівномірне розміщення по території країни, додатково бути включеними до мереж IGS та EPN. Спостереження на таких станціях будуть незалежно опрацьовувати, а їхні координати матимуть міжнародний статус та проходять незалежний аналіз на якість, цілісність, вірогідність для забезпечення однозначного зв'язку з міжнародними системами координат. Станом на 2022 р. густота розташування станцій мережі УПМ ГНСС не дозволяє використовувати її для геодезичного забезпечення робіт, однак в Україні існує ряд інших локальних GNSS-мереж, які є придатними для цих цілей [21].

Станом на сьогодні Європейська перманентна мережа (EPN) на території України має 12 станцій, що відображено на рис. 1.6.

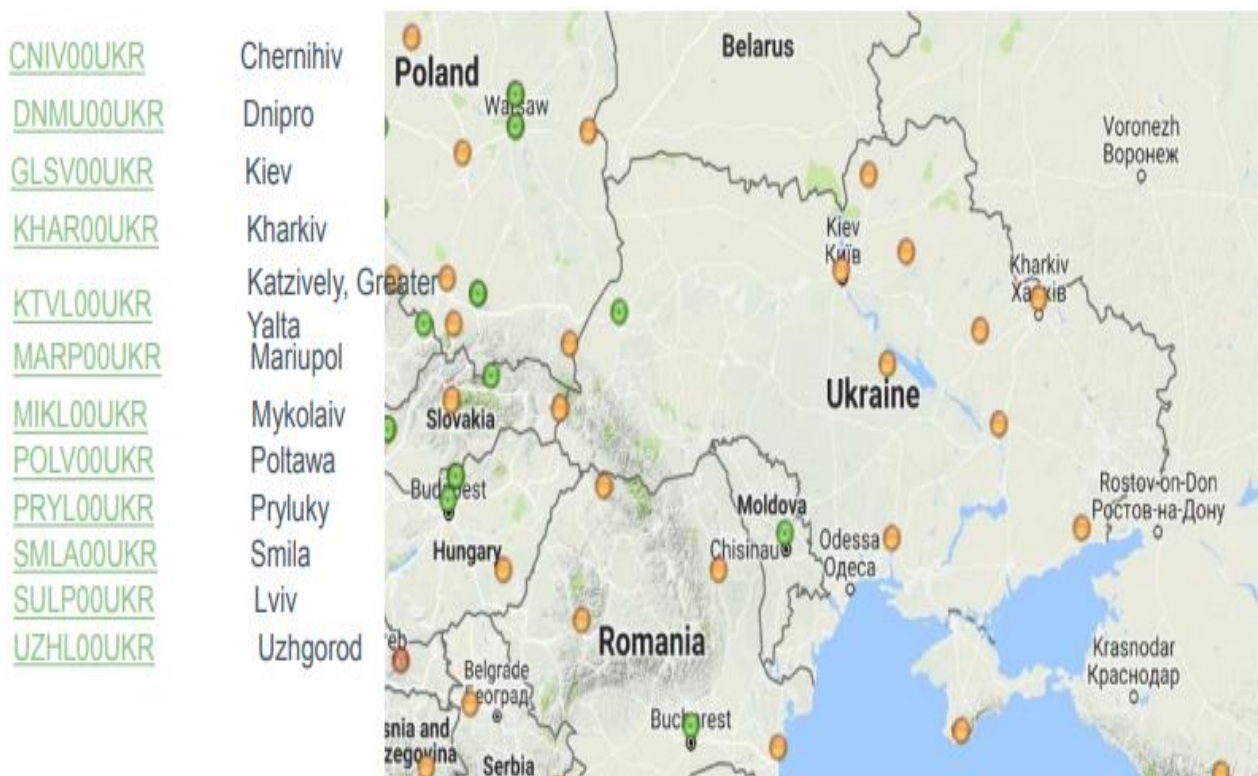


Рис. 1.6 – Розташування Європейської перманентної мережі (EPN) на території України.

Сьогодні в Україні налічують близько 400 GNSS-станцій, які існують, як поодинокі, або поєднані між собою в мережі, що здебільшого функціонують, як не залежні одна від одної. Однією із найбільш відомих є мережа ZAKPOS – Transcarpathian Position Determination System, створена у 2008 р. для забезпечення потреб геодезичних підприємств у проведенні вимірів у режимі реального часу та одержання високо точних статичних GNSS-спостережень [6]. На самому початку їхнього функціонування всі спостереження базувалися на системі координат ETRS89/ETRF2000. Сьогодні сучасна мережа забезпечує визначення координат, як в міжнародній системі відліку ITRS/ITRF, так і в національній референційній системі УСК2000. Водночас ці системи мають зв'язок одна з одною на основі відповідних параметрів трансформації, а також перетворення координат [18]. Варто зазначити, що умова взаємного перетворення, трансформування між різними системами координат є обов'язковою при наданні послуг для будь-якої супутникової навігаційної системи, або наземної мережі.

1.3. Національні GNSS мережі

Національна мережа GNSS є заснованою на роботі великої кількості опорних станцій, що входять до неї. На відміну від "класичних" постійних станцій, така мережа володіє декількома унікальними особливостями, зокрема:

1. щільністю розташування;
2. вимогами до установки антени, що не є такими строгими;
3. відсутністю стандартизованого підходу до вибору обладнання на станції;
4. здатністю працювати в режимі реального часу.

Референсна GNSS-станція – це комплекс супутникового обладнання, встановленого в спеціальних приміщеннях, прив'язаного до точок з відомими координатами у прийнятій системі відліку, разом з програмним забезпеченням призначеним для надання даних при визначенні точного місця розташування об'єктів за допомогою GNSS методу спостережень.

GNSS метод може надавати дані в режимі реального часу (real-time kinematic) та в режимі подальшої обробки (post-processing). Робота референсної GNSS станції є безперервною протягом усього року.

Активна референсна GNSS станція – це станція, яка надає дані в режимі реального часу безпосередньо користувачеві, або обчислювальному центру та бере участь у створенні коректуючої інформації для забезпечення режиму RTK.

Якщо станція не бере участі у забезпеченні режиму спостереження RTK, а використовується лише для подальшої обробки, то вона називається постійною опорною GNSS станцією. При роботі в мережі активних опорних станцій можливе створення віртуальних референсних станцій (VRS) [9].

Активна референсна GNSS станція – це набір реальних окремих станцій, принаймні 4-ох, які мають бути підключеними до єдиного обчислювального центру через лінію зв'язку, які керують, контролюють та виконують функцію управління.

Мережа RTK – це мережа, в якій дані використовуються для генерації поправок RTK для роботи в режимі реального часу.

RTN (real time GNSS Network) – це мережа для роботи в режимі реального часу [11; 12].

Метою створення мережі опорних станцій є побудова інфраструктури GNSS для реалізації технології RTK. Інфраструктура мережі референцних станцій включає в себе обчислювальний центр – оператор мережі, засоби зв'язку за допомогою підключення до інтернету та спеціалізоване мережеве програмне забезпечення.

Якщо мережа постійних станцій насправді є базовою мережею, призначеною для вирішення науково-технічних проблем найвищої точності, то мережа активних референцних станцій надає користувачам, які працюють у галузі підтримки координат, можливість фактично отримувати координати для будь-якої точки, доступної за допомогою застосування супутникових технологій, з достатньою точністю та ефективністю.

На даний час, на території України функціонують декілька мереж активних референцних станцій, створених у 2009-2012 рр. До найбільших із них у кількості понад 30 станцій відносять:

- ZAKPOS,
- ТНТ-ТPI,
- System Solutions.

До GNSS мереж з меншою кількістю станцій відносять:

- GEOTERRACE від Львівської політехніки;
- NGCNet від компанії «НГЦ», м. Харків;
- СКНЗУ – Система космічного навігаційного забезпечення України від Державного космічного агенства [17].

В Україні також спостерігаються і поодинокі активні референцні станції, що належать різними власникам, наприклад, група компаній «Є.П.С.», що знаходиться у м. Харків.

Загальна кількість GNSS станцій постійно змінюється і за приблизними підрахунками на початок 2017 р. їх число приблизно складає десь більше 200.

Структура мережі активних референцних GNSS станцій включає в себе:

1. станції спостереження, де на постійній основі встановлено GNSS - приймачі, закріплено на геодезичних центрах антени, що безперервно спостерігають за супутниками та формують вихідні дані;
2. операційні центри, де перевіряють дані від станцій спостережень, перетворюють вихідні дані з формату приймача у не залежний формат RINEX, архівують, завантажують у центр даних відповідної мережі через Інтернет. В більшості випадків роль операційних центрів виконують GNSS станції через відповідний комплекс спеціалізованого програмного забезпечення, або обчислювальні центри мережі;
3. центр даних регіональної мережі – шляхом відповідного сортування годинних і добових файлів збирає дані з усіх GNSS станцій спостережень, що входять у конкретну мережу, операційних центрів, щоб розмістити їх на своєму ftp-сервері.
4. центр аналізу даних – збирає дані з усіх центрів даних регіональних мереж, центру даних EPN з метою їхнього подальшого використання [19].

Реалізація національної референцної системи координат в Україні в основному базується на тому, що референцна система УСК-2000 має безпосередній зв'язок із загальною земною системою ITRS, а конкретніше із її реалізацією ITRF2000. На території України ця система є поширеною через перманентні GNSS станції та активні референцні станції.

До референцних систем координат відносять:

- ITRF реалізація (глобальна) – це комбінування різних технологій VLBI, SLR, DORIS, GNSS;
- IGS реалізація (глобальна) – лише GNSS;
- ETRF реалізація (фіксація тектонічної плити) – передбачає відношення до ITRF/IGS;
- УСК-2000 реалізація – відображає відношення до ITRF2000.

Європейська референсна система ETRS є такою, що (рис. 1.7):

- ідентична до ITRS на епоху 1989.0;
- визначена у відповідності до реалізації ITRF89 на референцну епоху 1989.0;
- базується на координатах станцій, отриманих із SLR/VLBI-спостережень;
- параметри трансформації ITRS та ETRS89 дорівнюють нулю;
- закріплена стабільною частиною Євразійської тектонічної плити;
- враховує те, що європейські станції мають рухи в декілька см в рік в ITRS, а для ETRS89 є нульовими;
- за винятком 3-ох оцінок обертань решта параметрів трансформації дорівнюють нулю [22].

Переваги ETRF-реалізації предбачають, що це:

- одна референсна система для всієї Європи;
- має прямий зв'язок із міжнародною референсною системою ITRS через її реалізацію;
- легко доступна із GNSS;
- не має спотворень в мережі;
- визначає «абсолютні» координати;
- забезпечує виконання простих маніпуляцій з координатами для користувачів;
- забезпечує обмін географічних даних [23].

CLASS A EPN STATION POSITIONS AND VELOCITIES													
REFERENCE FRAME: ETRF2000 AT EPOCH OF 2005.0													
DOMES NB.	SITE NAME	TECH. ID.	X/Vx	Y/Vy	Z/Vz	Sigmas			SOLN	DATA_START	DATA_END	REF.	EPOCH
	CLASS		-----m/m/Y-----			-----							
12207M002	BOGO	GPS	3633739.308	1397433.931	5035353.288	0.000	0.000	0.000	2	01:231:00000	16:093:86370	05:001:00000	
12207M002	A		-0.0004	-0.0007	-0.0006	0.0000	0.0000	0.0000					
12224M001	BYDG	GPS	3647217.206	1184604.093	5079624.989	0.001	0.000	0.001	2	14:257:00000	16:093:86370	05:001:00000	
12224M001	A		-0.0001	-0.0006	-0.0008	0.0001	0.0000	0.0001					
12204M001	JOZE	GPS	3664940.498	1409153.659	5009571.197	0.000	0.000	0.000	2	04:347:00000	16:093:86370	05:001:00000	
12204M001	A		-0.0003	-0.0003	-0.0006	0.0000	0.0000	0.0000					
12219S001	KATO	GPS	3862992.358	1332822.658	4881105.454	0.001	0.000	0.001	3	10:353:00000	16:093:86370	05:001:00000	
12219S001	A		0.0016	0.0006	-0.0037	0.0001	0.0000	0.0001					
12226M001	LODZ	GPS	3728601.886	1317402.264	4987811.152	0.001	0.000	0.001	2	14:306:00000	16:093:86370	05:001:00000	
12226M001	A		-0.0006	-0.0001	-0.0007	0.0001	0.0000	0.0001					
12228M001	SWKI	GPS	3452304.864	1460314.601	5143362.416	0.001	0.000	0.001	2	14:320:00000	16:093:86370	05:001:00000	
12228M001	A		-0.0009	-0.0011	-0.0018	0.0001	0.0000	0.0001					
12229M001	USDL	GPS	3837558.234	1596303.037	4822409.656	0.001	0.000	0.001	2	14:307:00000	16:093:86370	05:001:00000	
12229M001	A		-0.0007	-0.0004	-0.0010	0.0001	0.0000	0.0001					
12217M001	WROC	GPS	3835751.622	1177249.745	4941605.050	0.001	0.000	0.001	5	12:302:00000	16:093:86370	05:001:00000	
12217M001	A		-0.0002	-0.0006	-0.0005	0.0001	0.0000	0.0001					
12220S001	ZYWI	GPS	3904633.316	1360191.884	4840630.784	0.001	0.000	0.001	3	14:244:00000	16:093:86370	05:001:00000	
12220S001	A		-0.0006	-0.0005	-0.0004	0.0001	0.0000	0.0001					

Рис. 1.7. – Реалізація ETRF2000.

Координатні розв'язки для станцій EPN передбачають, що

- на основі багаторічних часових серій координат, швидкостей із регулярних EPN-розв'язків, станції EPN класифікують за певними критеріями якості, тривалості доступного інтервалу часу спостереження;
- згідно цих критерії станції мережі EPN ділять на два класи:
 1. клас_A: <1 см точності координат ETRS89 для будь-якої епохи та <1 мм/рік швидкості їх зміни;
 2. клас_B: <1 см точності координат ETRS89 для епохи з мінімальною дисперсією щодо середньої епохи (швидкості при цьому не публікуються);
- тільки станції класу A є придатними в якості опорних станцій для згущення національної GNSS мережі в ETRF2000 [8].

2. АНАЛІЗ ІНФРАСТРУКТУРИ НАЦІОНАЛЬНОЇ GNSS МЕРЕЖІ

2.1. Аналіз GNSS інфраструктури

Період розвитку GNSS технологій, що характеризується використанням диференційних розрізнених і статичних GPS-спостережень, практично закінчився. Основною причиною цього стали проблеми, пов'язані з обробленням GNSS спостережень, що проводилися в різні часові інтервали, з різними типами приймачів і з різних вихідних пунктів. Часто це були пункти класичної геодезичної мережі. У результаті порушувався принцип отримання однорідності та узгодженості координат. Якщо спостереження були практично автоматизованими, то суб'єктивні чинники мало впливали на одержання координат, що практично повністю залежали від кваліфікації виконавця і технічної грамотності їхнього забезпечення. GNSS система спостережень змогла забезпечити реалізацію таких завдань, як збільшення кількості каналів приймання супутникового сигналу, зниження енергоспоживання приймача, значне розширення можливостей зберігання спостережень у пам'яті приймача, зменшення варіацій фазового центру антени до 1-2 мм, врахування багато шляховості.

Слід зазначити, що з моменту появи GNSS технологій використання супутникових методів позиціонування стрімко розвивалося для виконання завдань, які потребують точності понад 1 м, у порівнянні з тим, що GPS системи можна було використовувати тільки в диференційному режимі. Для забезпечення цього режиму на станції, для якої визначають координати, необхідно було передати поправку, що визначається як різниця між відомими координатами для базової станції та її вимірами. Передача поправок безпосередньо до координат виявилася не ефективною, тому поправки вводили до значень результатів вимірюваних параметрів (псевдо відстаней) [5].

Диференціальний режим методу GPS спостережень стали називати DGPS і, відповідно, DGNSS. Технологію DGPS було розділено на кодову і псевдо

фазову, оскільки псевдо відстані можуть бути розраховані на основі кодових і фазових вимірювань.

Диференціальні режими на основі кодових вимірювань ґрунтуються на вимірюванні й обробці псевдо відстаней, що характеризуються, як правило, не обмеженим робочим діапазоном, похибкою визначення координат. Диференціальні навігаційні системи, засновані на вимірюванні кодів, можна розділити на локальні – Local Area Differential GPS, широко діапазонні – Wide Area Differential GPS (WADGPS) та глобальні – Global Differential GPS (GDGPS).

Локальні диференціальні навігаційні системи мають радіус дії до 200 км, що зазвичай використовують для морської навігації. Наразі у світі найбільш відомі тільки дві широко зонні диференціальні навігаційні системи. Це система WAAS – Wide Area Augmentation System, що належить уряду США і є розташованою в Північній Америці, і система EGNOS – European Geostationary Navigation Overlay Service, якою керує Європейське космічне агентство – ESA за фінансування Європейський Союзу [20].

OmniSTAR є світовим лідером у сфері глобальної DGPS. Глобальна служба OmniSTAR XP, регіональні служби віртуальних базових станцій – VBS і високо продуктивні служби – HP забезпечують точність визначення координат від 1-го м до 10-ти см за допомогою лише одного приймача завдяки дії 100 наземних базових станцій, 3-ох центрів завантаження супутникових даних, 2-ох центрів управління глобальною мережею. OmniSTAR надає надійні координатні послуги в безперервному режимі на всій території Землі.

Диференціальні режими, засновані на псевдо фазових вимірах, з одного боку, характеризуються досить високою точністю, зокрема до часток сантиметра, але їхнє застосування було сильно обмежене в плані робочого діапазону та приблизно становило 10-12 км. Особливістю цього типу диференціального режиму було те, що псевдо фазові вимірювання ставали не однозначними на великих відстанях, що обмежувало їхнє використання. Крім обмеження за дальністю, серйозною перешкодою для широкого поширення цієї технології було передавання диференціальних поправок каналами зв'язку в

режимі реального часу. Основним засобом передачі диференціальних поправок був радіоканал, і деякі GPS-приймачі залишаються ними обладнаними.

Поява технології RTK – Real time kinematic при застосуванні GPS технологій стала важливою складовою в системі розвитку високо точних супутникових систем позиціонування. Розроблення алгоритмів надійної фіксації неоднозначностей при визначенні координат призвела до значного вдосконалення GPS-приймачів, до яких належать багато частотні RTK, GPS, ГЛОНАСС і WAAS/EGNOS-приймачі з можливістю приймання нових модернізованих сигналів GPS L2C і L5, нових телекомунікаційних можливостей.

Використання диференціальних режимів на основі квазі фазових вимірювань, відомих як технологія RTK, призвело до повсюдного впровадження мереж базових станцій, а не окремих пунктів, щоб розширити діапазон застосування технології RTK. Загалом, можна сказати, що сьогодні технологія RTK для задач точного позиціонування вийшла на широкий рівень надання геодезичних послуг [32].

Таким чином, впровадження технології RTK виявилось особливо ефективним у двох аспектах, що:

1) дозволяє отримувати визначення координат на сантиметровому рівні безпосередньо під час виконання спостережень;

2) розширилася сфера застосування системи GNSS технологій. Крім геодезії, а саме побудови опорних геодезичних мереж, кадастрового знімання, землевпорядкування, базових застосувань щодо визначення деформації земної кори, параметрів орієнтації Землі, GNSS технології ефективно використовують в системах керування рухом, службах безпеки, гідро графічному зніманні, лазерному скануванні, аерофотозніманні, кліматичних дослідженнях та багатьох інших галузях [27].

З огляду на сучасний стан розвитку інфраструктури GNSS мережі в Україні, можна запропонувати такі схеми використання GNSS спостережень для координатного забезпечення в геодезії, кадастрі та землеустрої:

- наявних постійних GNNS станцій з відносно не великою кількістю постійних станцій, зокрема 8 у мережі EPN і кілька, що працюють в автономному режимі, які можна ефективно використовувати тільки для відносно коротких спостережень, у радіусі до 30 км для одно частотних приймачів і 50 км для дво частотних приймачів. Лише у випадку дво частотних приймачів можливе досягнення відстаней понад 100 км від роботи постійної GNNS станції, але тільки за значного збільшення часу спостереження, у деяких випадках до доби. Відомо, що координати для будь-якої точки на території України можна визначити з сантиметровою точністю за 3-ма найближчими постійними станціями EPN, що не обов'язково знаходяться в Україні, за результатами GNNS спостережень із дво частотними приймачами впродовж від кількох секунд;

- базових станцій за умови використання дво частотного GNNS-приймача із високо точною антеною, яку можна встановити, як стаціонарну базову станцію на офісній будівлі. Залежно від типу приймача потрібно вибрати відповідне програмне забезпечення для управління базовою станцією. Це управління має забезпечувати автоматичне збереження даних спостережень у робочому комп'ютері в заданому режимі. Особливу увагу тут слід звернути на наявність такого програмного забезпечення та економічну доцільність його придбання;

- мережі базових станцій – для розширення території, що покривається даними із застосуванням GNNS технологій, коли замість однієї базової станції розгортається мережа таких базових станцій. Для ефективного управління кількома стаціонарними базовими станціями потрібне спеціальне мережеве програмне забезпечення, що дає змогу контролювати роботу всіх базових станцій через мережу інтернет [25].

Слід зазначити, що найоптимальнішим варіантом використання базових станцій є наділення їх можливістю керування передаванням стандартних RTK-поправок на користувачький приймач за допомогою каналу мобільного зв'язку, або зберігання даних для передавання через мережу інтернет для пост обробки даних. Також необхідно встановити додаткові системи зв'язку з діючими GNNS

приймачами, щоб повною мірою використовувати можливості RTK режиму технологій.

2.2. Можливості згущення Державної геодезичної мережі за допомогою GNNS спостережень

Перші кроки зі створення постійної мережі GNNS спостережень в Україні розпочалися 1995 р. з реалізації проєкту UKRREF95 у складі технічної робочої групи EUREF. Відповідно до загально прийнятої на той час методики національного ущільнення мережі EUREF, планувалося проводити 5-ти денні GPS-спостереження на 16 спеціально побудованих станціях із середньою відстанню близько 200-300 км одна від одної. Ці станції називали періодичними, оскільки GPS-спостереження планувалося проводити короткими кампаніями – менше, ніж один раз на тиждень, раз на кілька років, або рідше.

Більшість побудованих станцій являли собою бетонні моноліти різної висоти (0,1-3 м), глибини закладення (до 3 м), розмічені для примусового центрування. Основна функція регулярно діючої мережі GNNS спостережень зводилася до створення й оперативного відтворення глобальної системи координат ITRS і континентальної ETRS89.

На жаль, через низку організаційних прорахунків спостереження не вдалося завершити в заплановані терміни. У результаті спостережень було отримано близько 80 % від запланованого обсягу даних, що дало змогу провести перше попереднє опрацювання у 1996 р. Головним недоліком цього стала відсутність надійних зв'язків між створеною мережею і постійними європейськими обсерваторіями, що призвело до того, що цілі не було досягнуто [26].

Роботи з інтеграції мережі EUREF в Україні було відновлено лише 2000 р., а саме у 2000-2007 р.р. на низці станцій мережі GPS, що регулярно діють, та кількох станціях національної геодезичної мережі були проведені дослідження із застосуванням GPS технологій. Зі створенням першої постійної GPS-станції

мережі IGS/EPN в Україні процес інтеграції мережі EUREF можна вважати успішним. Зазначимо, що опрацювання GPS-спостережень, проведених після 2000 р., здійснював Інститут геодезії та картографії. У результаті було отримано координати для окремих точок у різних реалізаціях ITRS за спостережуваний період. Важливо зазначити, що носіями реалізацій ITRS були українські та зарубіжні постійні GPS-станції IGS/EPN, координати яких приймалися за еталонні.

Шляхом вирівнювання GNSS мережі разом з окремими пунктами Державної геодезичної мережі було реалізовано мережу згущення у вигляді національної реалізації ITRF2000; змодельовано параметри трансформації між ITRF2000 і геодезичною системою відліку УСК-2000; отримано координати пунктів Державної геодезичної мережі в системі координат УСК-2000. У результаті отримано координати всіх пунктів ДГМ у референційній системі координат УСК-2000, що використовують, як опорні пункти для згущення мережі, як за допомогою GNSS спостережень, так і за допомогою застосування класичних геодезичних методів [27].

Таким чином, в Україні наявні можливості щодо згущення геодезичної мережі від:

- 1) постійних GNSS-станцій IGS/EPN – для отримання координат у реалізації ITRS/ETRS89;
- 2) постійних станцій ГНСС IGS/EPN (реалізація ITRF2000, координати перераховані на епоху 2005 року) – для отримання координат УСК-2000;
- 3) станцій GNSS Державної геодезичної мережі – для отримання координат в системі координат УСК-2000 [14].

На рис. 2.1 відображено можливі варіанти згущення Державної геодезичної мережі за допомогою GNSS спостережень.

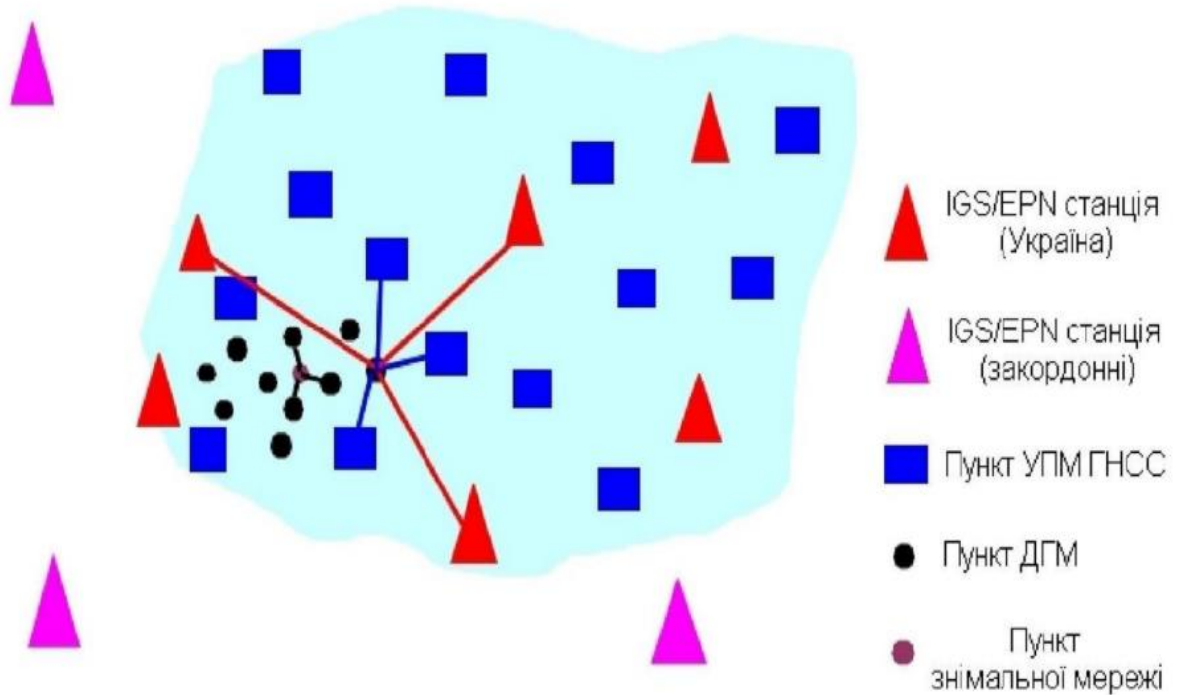


Рис. 2.1. – Можливі варіанти згущення Державної геодезичної мережі за допомогою GNSS спостережень.

2.3. GNSS станції та пункти Державної геодезичної мережі

GNSS (Global Navigation Satellite System) – це система, що дає змогу визначати просторове положення об'єктів на місцевості через обробку супутникових сигналів, які приймають за допомогою GNSS-приймача. GNSS складається з 3-ох сегментів: космічного, управління та користування. Космічний сегмент являє собою сузір'я супутників, що рухаються навколо земною орбітою. Сегмент управління містить мережу станцій стеження, які відстежують, координують положення супутників на орбіті. Користувацький сегмент включає в себе всі приймачі, які використовують GNSS для визначення свого положення.

Усі супутникові навігаційні системи різняться за сигналами, кількістю супутників на орбіті та орбітальними параметрами супутників. Майже всі супутники передають, як цивільні відкриті сигнали, так і військові, що є

закритими. Для визначення просторового положення користувача з точністю до 3-15 м достатньо лише супутникового навігаційного приймача.

GNSS-приймачі вимірюють час поширення сигналу від супутника до приймача. З прийнятого сигналу приймач отримує дані про положення супутника. Щоб виміряти відстань від супутника до приймача, потрібно помножити час поширення сигналу від супутника до GNSS-приймача на швидкість світла. Такий метод вимірювання відстані від супутника до GNSS приймача називається кодовим. Окрім того, існує більш точний метод вимірювання відстані, що називається фазовим. При цьому методі вимірюється кількість радіохвиль, що потрапляють на відстань від супутника до GNSS приймача, де фаза останньої радіохвилі та, яка не потрапляє на цю відстань.

З геометричної точки зору GNSS спостереження можна описати, як кілька супутників, де у центрі перебуває користувач на перетині дії сигналу штучних супутників землі. Радіус кожної дії дорівнює відстані до видимого супутника, враховуючи сигнали з 3-ох супутників, що передають дані про широту, довготу і висоту об'єкта, а четвертий супутник – надає інформацію про точний час. Виміряні відстані до супутників та їхні координати можна підставити в систему рівнянь, на основі якої обчислюються координати користувача. Таким чином, для отримання точної інформації про положення необхідно виміряти відстані до 4-ох супутників.

Для більш точного визначення просторового положення необхідно проводити вимірювання в диференціальному режимі, тобто мати два приймачі, один з яких повинен перебувати в точці із заданими координатами в якості базового, а другий – використовують для того, щоб визначати координати необхідної точки. Обидва приймачі повинні працювати одночасно, виступаючи в ролі мобільного ровера.

Водночас існує два режими вимірювань: посто бробка даних і застосування режиму RTK у реальному часі. При використанні режиму пост обробки спочатку проводять польові вимірювання в заданій точці, далі дані передаються з приймача на комп'ютер, де вимірювання обробляються за допомогою

спеціального програмного забезпечення. У режимі реального часу координати для безпосередньої точки можуть бути отриманими в польових умовах та вимагати радіо-, або GSMзв'язку між базою та приймачем ровера з радіомодемом, або GSM-модемом [27].

Мережа ETRF 2000-UA включає в себе понад 150 GNNS станцій і геодезичних пунктів. Для цього використовувалися опорні станції GNNS мережі та геодезичні пункти, що належать до різних типів геодезичних мереж. Залежно від типу та розташування станцій і пунктів їх можна розділити на кілька категорій, до яких належать:

- 1) GNSS-станції, що працюють у режимі постійних спостережень;
- 2) референсні станції, що розташовані за межами України та працюють у мережі EPN класу А у кількості 17-ти станцій;
- 3) референсні станції, розташовані на території України, що працюють у мережі EPN класу А і В в кількості 12-ти станцій;
- 4) опорні станції в діючій мережі України, без урахування станцій EPN – близько 100 станцій,
- б) закордонні референсні станції, розташовані поблизу кордону за межами України, які працюють у системі активних мереж України ASG-EUPOS, TPI NETpro, SKPOS, GNSSnet.hu, ROMPOS, MoldPOS у кількості 21 станції;
- 7) станції GNNS, що регулярно експлуатуються, а також геодезичні станції на заході України;
- 8) базові станції GNSS на основі проведення регулярних GNNS спостережень в рамках національних і міжнародних проєктів у кількості 5-ти станцій;
- 9) геодезичні станції першого рівня Державної гідрографічної служби України у кількості 21 станції [19].

Геодезичні пункти мережі GNSS і Державної геодезичної мережі безпосередньо пов'язані з національною геодезичною системою координат УСК-2000 за умови виконання контролю референсних GNSS-станцій у відповідній

системі координат. Координати цих пунктів мають бути вираженими в тій самій реалізації, що й референсна система.

Усі референсні GNSS станції працюють в безперервному режимі, що дає змогу отримувати повно масштабні файли щоденних спостережень для контрольної геодезичної мережі. GNSS вимірювання на станціях державної геодезичної мережі, що регулярно експлуатуються та беруть участь у контрольних прив'язках до референсної системи УСК-2000, показано на рис. 2.2.



Рис. 2.2. – Схема контрольної геодезичної мережі, де червоним кольором виділено референсні GNSS-станції, чорним – пункти Державної геодезичної мережі.

Інформацію про референсні GNSS-станції на території Заходу України показано у табл. 2.1.

Таблиця 2.1. – Інформація про референсні GNSS-станції, що розташовані на території Заходу України

№ п/п	Назва станції	Мережа	Місце розташування	Тип приймача
1.	BRGN	GEOTERRACE	Бережани	LEICA GR10
2.	CHER	GEOTERRACE	Червоноград	LEICA GR10
3.	CHTK	TNT-TPI	Чортків	TPS HGGDT TPS E_GGD
4.	CRNI	ZAKPOS	Чернівці	TRIMBLE 5700

№ п/п	Назва станції	Мережа	Місце розташування	Тип приймача
5.	FRAN	TNT-TPI	Івано-Франківськ	TPS HGGDT TPS E_GGD
6.	GRD2	TNT-TPI	Городенка	TPS GB500/ TPS GB-1000
8.	HUS1	ZAKPOS	Хуст	TRIMBLE NetR5
9.	JTMR	TNT-TPI	Житомир	TPS GB500/ TPS GB-1000
10.	KKSH	SystemNET	Камінь-Каширський	LEICA GR10
11.	KOVL	SystemNET	Ковель	LEICA GR10
12.	LUTS	SystemNET	Луцьк	LEICA GR10
13.	MIZ1	ZAKPOS	Міжгір'я	TRIMBLE NetR5
14.	MUKA	ZAKPOS	Мукачєво	TRIMBLE NetR5
15.	MYKO	GEOTERRACE	Миколаїв	LEICA GRX1200GGPRO
16.	NADA	ZAKPOS	Надвірна	TRIMBLE NETRS
17.	NVVL	SystemNET	Новоград-Волинський	LEICA GR10
18.	RAH1	ZAKPOS	Рахів	TRIMBLE NetR5
19.	RDVL	GEOTERRACE	Радивилів	JPS EGGDT
20.	RIVN	SystemNET	Рівне	LEICA GR10
21.	RJNT	TNT-TPI	Рожнятів	TPS GB500/ TPS GB-1000
22.	RMNK	TNT-TPI	Романківці	TPS GB500/ TPS GB-1000
23.	SAMB	GEOTERRACE	Самбір	LEICA GRX1200GGPRO
24.	SARN	ZAKPOS	Сарни	TRIMBLE 5700
25.	SHAZ	GEOTERRACE	Шацьк	TRIMBLE 5700
26.	SHU1	ZAKPOS	Шумськ	TRIMBLE 5700
27.	SKOL	GEOTERRACE	Сколе	LEICA GRX1200GGPRO
28.	SOKA	GEOTERRACE	Сокаль	LEICA GR10
29.	STRY	ZAKPOS	Стрий	TRIMBLE NETRS
30.	TER2	ZAKPOS	Тернопіль	EPSSBase-6GG/ NOV OEM6
31.	UZHG	ZAKPOS	Ужгород	TRIMBLE NetRS

Усі GNSS спостереження є заснованими на одних і тих самих методиках і параметрах, що включають в себе:

- час спостережень за пунктами GNSS безперервно упродовж 24-ох годинних сесій;
- кут піднесення становить 5° на всіх майданчиках проведення GNSS спостережень;
- час реєстрації сигналу – 5 секунд;
- частина одночасних спостережень є можливою не менше, ніж на 3-ох пунктах GNSS спостережень [20].

Таким чином, у проєкт згущення Державної геодезичної мережі було включено всі доступні GNSS станції та пункти, але не всі вони були використаними в якості згущення ETRS 89 в Україні. Важливим є те, що референсні станції в сусідніх країнах також є необхідними для поширення впровадження референцної системи на кордоні з Україною, а також є важливими для розподілу послуг мережі діючих референцних GNSS станцій.

3. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПУНКТУ ДЕРЖАВНОЇ ГЕОДЕЗИЧНОЇ МЕРЕЖІ

3.1. Характеристика мережі референцних станцій Geoterrace

Об'єктом дослідження є мережа референцних станцій Geoterrace, що була заснована в 2012 р. Інститутом геодезії Національного університету “Львівська політехніка” та по сьогодні використовується для забезпечення наукових досліджень в напрямках геодинаміки, ГІС, моніторингу природніх та техногенних процесів, кадастру, а також в навчальному процесі. Станом на серпень 2019 р. мережа Geoterrace налічувала 30 власних станції на території Західної України (рис. 3.1).

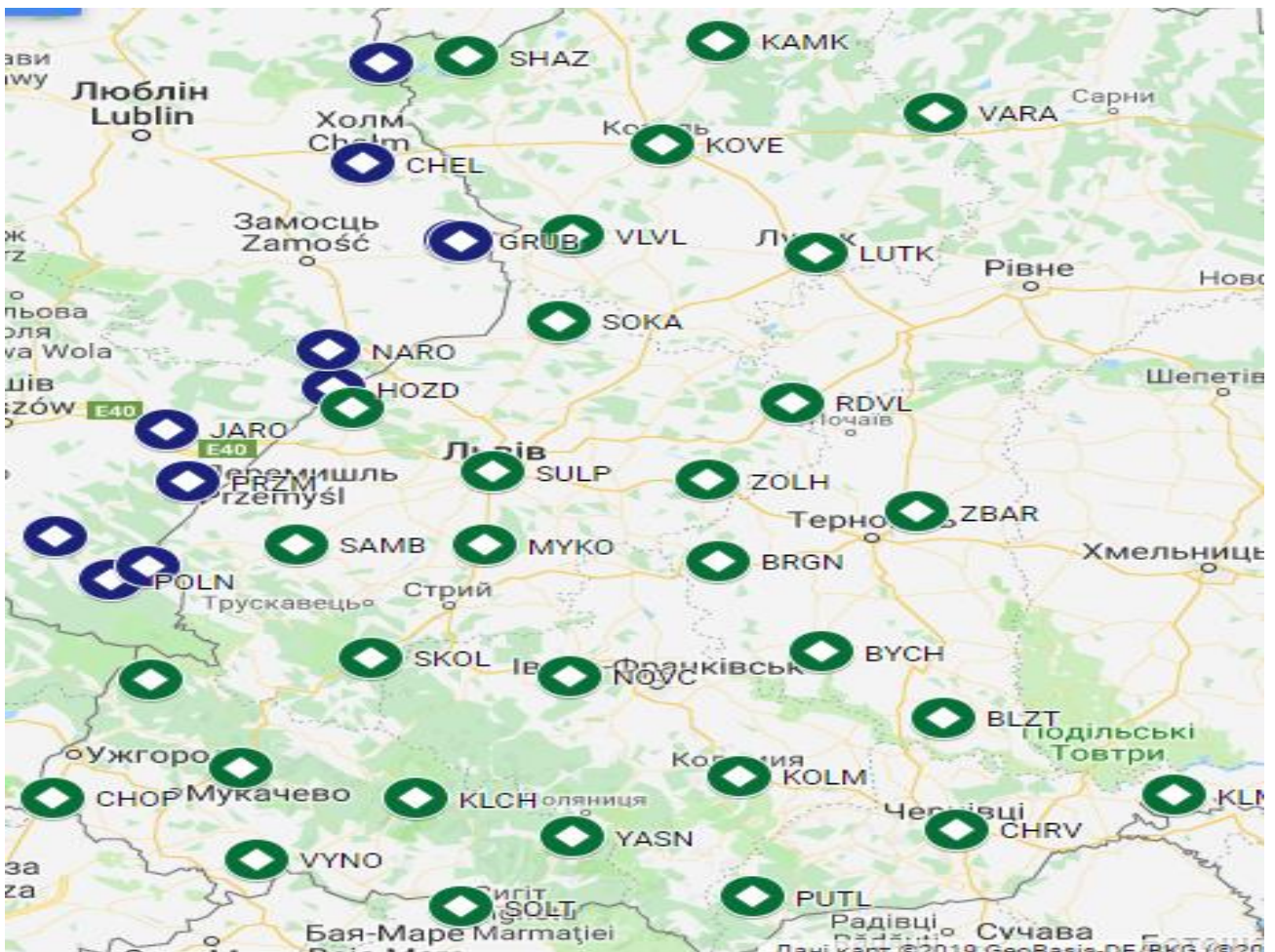


Рис. 3.1. – Розміщення станцій GNSS мережі Geoterrace.

Станціям GNSS мережі Geoterrace дозволяють одержати координати у системі 1963 р., що являється умовною системою координат та є похідною від СК-42, але не є референсною. Створена в 60-их роках 20 ст. вона невдовзі була скасованою. Ця система ґрунтується на 3 градусних зонах проєкції Гаусса-Крюгера та за математичним обґрунтуванням має зміни лише при побудові номенклатурного ряду базових карт масштабу 1 : 100 000. Система координат СК-63 використовує систему СК-42 та Балтійську систему висот.

При використанні сучасних GNSS технологій для визначення координат в системі СК-63 потрібно спотворити існуючі координати, вносячи поправки в результати вимірювань. Для цього кожна мережа перманентних активних референсних станцій повинна створювати, так званий, grid файл поправок, що буде з найкращою точністю відображати спотворені координати.

Досліджено, що одним з недоліків систем СК-42 і СК-63 є не однорідність геодезичної мережі. З цією метою було проведено безліч досліджень, які підтверджують не доцільність використання цих систем координат на практиці.





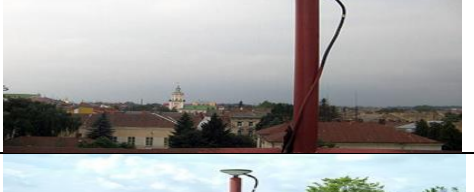




Сьогодні в Україні офіційною системою координат є УСК-2000. Введення цієї системи координат потребувало багато сил і часу та було виконано лише у 2016 р. Першим законодавчим актом, який запровадив УСК-2000 на території України була постанова «Деякі питання застосування геодезичної системи координат» [1]. У 2016 р. набув чинності Наказ «Про затвердження Порядку використання Державної геодезичної референсної системи координат УСК-2000 при здійсненні робіт із землеустрою» [14].











Система координат УСК-2000 р. є чітко узгодженою з Міжнародною загальноземною референсною системою координат ITRS/ITRF2000 на епоху 2005 р., яка закріплена пунктами космічної геодезичної мережі.

3.2. Методика встановлення станцій GNSS мережі Geoterrace

В табл. 3.1 наведено назви станцій, місце розташування і зображення станцій GNSS мережі Geoterrace.

Таблиця 3.1. – Станції GNSS мережі Geoterrace

Назва станції	Місце розташування	Рисунок
SULP	Львівської область, м. Львів	
MYKO	Львівської область, м. Миколаїв	
BRGN	Тернопільська область, м. Бережани	
SKOL	Львівської область, м. Сколе	
SAMB	Львівської область, м. Самбір	
SOKA	Львівська область, м. Сокаль	
VLVL	Волинська область, м. Володимир-Волинський	
ZOLH	Львівська область, м. Золочів	
RDVL	Рівненська область, м. Радивилів	

Назва станції	Місце розташування	Рисунок
SHAZ	Волинська область, м. Шацьк	
NEMR	Львівська область, смт. Немирів	
KOST	Закарпатської область, с. Кострина	
CHOP	Закарпатської область, м. Чоп	
VYNO	Закарпатської область, м. Виноградів	
KLCH	Закарпатської область, с. Колочава	
SOLT	Закарпатської область, смт. Солотвине	
YASN	Закарпатська область, смт. Ясіня	
SVLV	Закарпатська область, м. Свалява	
LUTK	Волинська область, м. Луцьк,	

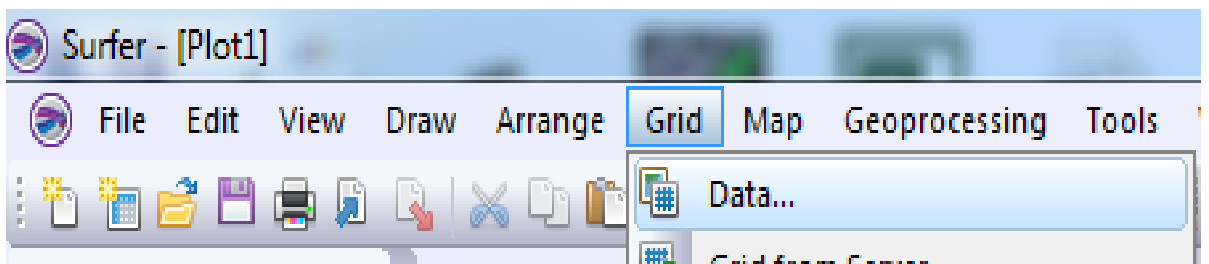
Назва станції	Місце розташування	Рисунок
KOVE	Волинська область, м. Ковель	
KAMK	Волинська область, м. Камінь-Каширський	
VARA	Рівненська область, м. Вараж	
BLZT	Тернопільська область, с. Більче-Золоте.	
KLMN	Чернівецька область, смт Кельменці	
PUTL	Чернівецька область, с. Путила	
CHRV	Чернівецька область, м. Чернівці	
BYCH	Тернопільська область, м. Бучач	
ZBAR	Тернопільська область, м. Збарж	

В GNSS мережі Geoterrace функціонує 2 порти з передачі даних, зокрема для:

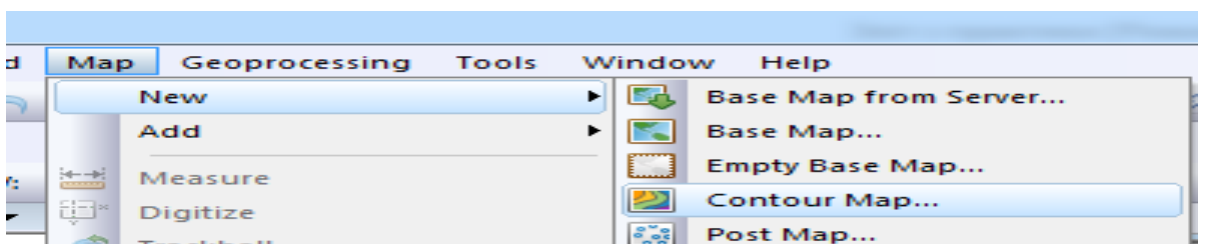
1. системи координат СК-63;
2. системи координат УСК-2000.

Для розрахунку трансформаційного файлу системи координат СК-63 та геоїда використовують програмне забезпечення Surfer 13. Для згущення ґриду застосовують вже створений файл формату .txt, виконуючи наступні дії:

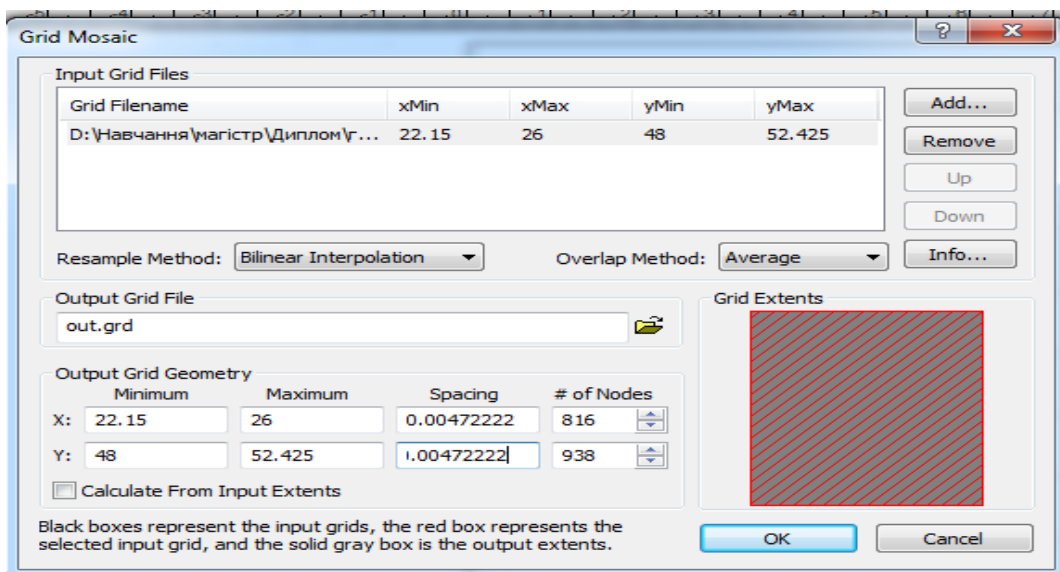
1. Grid Data → файл .txt → .grid;



2. Contour Map → файл . grid;



3. Grid Mosaic → крок 0,00472222 → ОК;



4. Експорт в формат .dat

3.3. Визначення координат пункту Державної геодезичної мережі методом GNSS спостережень

Під час проведення польових робіт для визначення координат пункту Державної геодезичної мережі методом GNSS спостережень з метою порівняння результатів координати визначали методом GNSS від 3-ох референцних станцій – Geoterrace, Zakpos та System.Net.

Під час визначення координат на пункті Збиранка, із застосуванням методу RTK спостережень (рис. 3.2), виконувались наступні польові дії:

1. комплект RTK GNSS монтували на телескопічну віху, щоб встановити на точку координати, яку необхідно визначити;
2. вмикали приймач, запускали програма Cube-A для того, щоб виконати підключення до мережі базових станцій;
3. виконували визначення координат точок, що записували дані у приймач;
4. контроль RTK поправок виконували згідно із даними Банку геодезичних даних.



Рис. 3.2. – Визначення координат пункту Державної геодезичної мережі Збиранка.

При проведенні RTK спостережень виконували наступні камеральні дії:

1. експорту координат у файл .txt, де відображено номер точки, координату “X”, координату “Y” та висоту “H” (табл. 3.2);
2. контролю відхилення від значення координат із Банку геодезичних даних

Таблиця 3.2. – Значення координат для пункту Державної геодезичної мережі
Збиранка

	X, м	Y, м	H, м
SN_63	XXXX395,358	XXXX518,360	354,918
ZP_63	XXXX395,425	XXXX518,317	354,902
GT_63_Nearest	XXXX395,461	XXXX518,337	354,974
GT_63_VRS	XXXX395,459	XXXX518,333	354,975
Каталог ДГМ	XXXX395,431	XXXX518,327	354,889

З метою наповнення сайту мережі Geoterrace було створено карту станцій. Створення карти виконано у формі додатків Google, для чого було використано геодезичні координати кожної станції мережі.

На основі аналізу оброблених результатів багаторічних GNSS-спостережень на референцних станціях за останні п'ять років можна з упевненістю сказати, що більшість із них гарантують координати на рівні точності 1-2 см. Лише деякі станції мають трохи меншу точність [16]. У таблиці 3.3 подано розподіл середньої квадратичної помилки координат для референцних станцій.

Таблиця 3.3 – Розподіл середніх квадратичних похибок координат референцних станцій за значеннями

Сантиметри	ZAKPOS	СКНЗУ	EPS	GEONET	TNT-TPI
0-1	16	4	0	8	25
1-2	1	4	2	1	10
2-3	0	1	4	0	10
Більше 3	0	3	0	0	1
Всього	17	12	6	9	46

Як видно із даних табл. 3.3 найбільш проблемними є станції, що належать мережам СКНЗУ та TNT-TPI. Можливими причинами такого стану є:

1). формування добових RINEX-файлів з мережі, а не безпосередньо у приймачів станції через часткову відсутність інтернет-зв'язку, що призводить до зривів даних спостережень у часі;

2). використання приймальних антен, що не відповідають стандартам IGS, або не мають відповідних калібрувань у програмних пакетах;

3). не регулярні зміщення приймальної антени через можливі деформації місця її встановлення.

Отже, активні референсні станції, що використовують оператори GNSS мереж для надання послуг, можуть бути задіяними при створенні, оновленні топографічних карт і планів у Державній геодезичній референсній системі координат УСК-2000, геодезичному забезпеченні ведення земельного кадастру, інших топографо-геодезичних роботах. За умови забезпечення точності вихідних координат референсних станцій на рівні 1- 2 см атестованим є мережеве програмне забезпечення, що використовують оператори мереж, через такі послуги, як технології RTK, віртуальні референсні станції є здатними гарантувати необхідну точність.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Інженерно-геодезичні роботи виконують у різних умовах: на територіях міст і промислових об'єктів, у лісових і важкодоступних місцях, на ділянках залізних й автомобільних доріг, на будинках і спорудах що зводяться і т. д. Для попередження нещасних випадків і травм у цих умовах всі роботи повинні виконуватися з дотриманням спеціальних правил й інструкцій з техніки безпеки. З метою ознайомлення всіх без винятку працюючих із цими правилами проводяться спеціальні інструктажі. Розрізняють інструктаж вступний і на робочому місці. Повторний інструктаж проводиться через установлений час і при впровадженні нової технології, нового обладнання й при введенні нових правил по техніці безпеки.

При виконанні геодезичних робіт на будівельних майданчиках насамперед дотримуються загального правила техніки безпеки будівництва. При виконанні геодезичних робіт, що супроводжують будівельним, виконують всі правила техніки безпеки, установлені для даного виду будівельних робіт, а також специфічні.

До початку польових топографо-геодезичних робіт у міських умовах, населених пунктах і на територіях промислових об'єктів установлюють схеми розміщення схованих об'єктів: підземних комунікацій і споруд. При роботі в місті необхідно знати правила дорожнього руху; при роботі на проїзних частинах треба надягати демаскуючу (жовтогарячу) одяг і виставляти огорожувальні щити.

При закладці тимчасових пунктів, штирів й інших знаків їхню верхню частину забивають на рівень із поверхнею землі, а їхня довжина не повинна бути більше 1 5см.

При геодезичних вимірах, виконуваних у процесі земляних, кам'яних, бетонних і монтажних робіт, дотримують правил безпеки, що пропонують для даних будівельних робіт.

На роботи в межах охоронних зон кабелів, що перебувають під напругою, або діючого газопроводу, необхідний дозвіл відповідного електро- або газового господарства.

При бетонних роботах під час електронагріву бетону не можна стосуватися рулеткою арматур. Не можна виконувати розбивочні й вивірочні роботи в зоні монтажу. При швидкості вітру 15 м/с і більше, ожеледі, грозі або тумані, що виключає видимість у межах фронту робіт, припиняють всі роботи, у тому числі й геодезичні на висоті у відкритих місцях.

Забороняється розмічати осі й інші орієнтири на елементах конструкцій під час їхнього підйому, переміщення або в підвішеному стані. Не можна залишати геодезичні прилади й приналежності без догляду на монтажному горизонті під час перерви в роботі. Геодезичні прилади переносять тільки в пакувальних ящиках, а штативи - у складеному виді.

Зйомка існуючих підземних комунікацій, як правило, пов'язана з їхнім обстеженням. При обстеженні знімають кришки колодязів й у колодязів ставлять триногу зі знаком «Небезпека». До робіт допускаються тільки особи, що мають спеціальну підготовку, що пройшли навчання безпечним методам ведення робіт із закладки знаків.

Для проведення зйомок місцевості важливим елементом є прив'язка до державної геодезичної мережі. Створення геодезичної мережі здійснюється за чіткою науково обґрунтованою програмою. Вона створюється за методами триангуляції, полігонометрії, трилатерації і в їх поєднанні. Для закріплення на місцевості пунктів геодезичної мережі закладаються підземні споруди – центри геодезичних знаків. Центри з плином часу не повинні змінювати свого місця розташування, добре охоронятися від руйнування, щоб їх легко можна було розшукати і користуватися ними.

Риття котлованів для закладки центрів пунктів триангуляції і полігонометрії, ґрунтових реперів, установлення основних стовпів геодезичних знаків, вирубка заглиблень у цегляних і залізобетонних стінах для закладки марок і реперів, риття канав для маркування знаків слід проводити переважно

механічними методами.

При використанні для земляних робіт машин і механізмів, що випускаються промисловістю, необхідно суворо керуватися розробленими для них інструкціями заводів-виробників з обслуговування і техніки безпеки. Вимоги щодо безпечної експлуатації землерийних, бурових (термобурових) установок та інших механізмів мають бути записані до організаційно-технічних розпоряджень виконавцям. Крім того, бригади необхідно забезпечити інструкціями з експлуатації конкретно використовуваних в бригаді механізмів.

При роботі в населених пунктах, у густонаселених районах, на територіях промислових об'єктів і будівельних майданчиків слід стежити за тим, щоб бурова свердловина не попала на лінії підземних інженерних комунікацій і не була пробурена на неприпустимо близькій від них відстані, зокрема, від трас водопровідної, каналізаційної, теплофікаційної мереж на відстані менше 1 м; від кабелів зв'язку, електромережі та радіомережі - менше 2 м. При цьому буріння на такій відстані від кабелів зв'язку, електромережі необхідно виконувати в присутності представника організації, яка користується підземними комунікаціями.

Якщо немає точних даних про місцезнаходження трас підземних інженерних комунікацій, а наявність їх у цих місцях передбачається, риття котлованів для встановлення геодезичних знаків методом буріння забороняється. Земляні роботи в цьому випадку необхідно виконувати вручну з дотриманням необхідних запобіжних засобів.

Якщо виявиться, що спорудження знака заплановане на ділянці з можливим патогенним зараженням ґрунту, необхідно отримати дозвіл органів Державного санітарного нагляду. Якщо при проведенні земляних робіт встановлено наявність або надходження шкідливих газів або вибухонебезпечних речовин, роботу слід негайно припинити, робітників вивести з небезпечної зони і негайно повідомити керівництво експедиції та місцеві органи влади або організації.

Над кожним закладеним у ґрунті підземним центром споруджують

зовнішні геодезичні знаки. Спорудження геодезичних знаків має здійснюватися в суворій відповідності з чинним керівництвом зі спорудження геодезичних знаків», з урахуванням подальших указівок і змін.

До керівництва роботами зі спорудження геознаків допускаються особи, які пройшли спеціальну курсову підготовку і здали перевірочні випробування, а також особи, що мають середню спеціальну або вищу освіту за геодезичним фахом і пройшли стажування за спорудженням знаків не менше одного польового сезону.

На місці спорудження геодезичних знаків у процесі робіт забороняється знаходитися стороннім особам. У забудованій частині місце будівництва має бути обгороджене.

Відстані від геодезичного знака до залізничних ліній, автомобільних і гужових доріг, телефонних і телеграфних ліній, а також до будинків та інших будівель повинні бути не менше 1,5 висоти знака, відстань до високовольтних ліній повинна бути не менше 150 м і до меж полів аеродромів - не менше тридцяти висот сигналу.

Керівник будівельної бригади зобов'язаний бути присутнім у бригаді та особисто здійснювати керівництво всіма процесами робіт. Щодня перед початком роботи він повинен оглянути місце роботи, устаткування, інструменти, запобіжні пристрої та пристосування і дати вказівку щодо усунення виявлених недоліків [7].

5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Охорона навколишнього середовища здійснюється різними, у тому числі й правовими, засобами. При цьому в правових формах захищаються переважно всі компоненти, які утворюють природне середовище.

Сучасними головними нормативно-правовими актами що регулюють основи організації охорони навколишнього природного середовища, є Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про охорону атмосферного повітря», «Про природно-заповідний фонд України», «Про тваринний світ», «Про карантин рослин» та інші. До того ж деякі відносини у сфері використання і охорони навколишнього природного середовища врегульовані кодексами (земельним, водним, лісовим, про надра), а також Законами України «Про плату за землю», «Про ветеринарну медицину». Важливе значення у вирішенні цього питання має затверджений Постановою Верховної Ради «Порядок обмеження, тимчасової заборони (зупинення) чи припинення діяльності підприємств, установ, організацій і об'єктів у разі порушення ними законодавства про охорону навколишнього природного середовища».

Різновидами права природокористування є право:

- землекористування,
- водокористування,
- лісокористування,
- користуватися надрами,
- користуватися тваринним світом,
- користування природно-заповідним фондом.

Право природокористування – це процес раціонального використання людиною природних ресурсів для задоволення різних потреб та інтересів.

Найважливішими принципами природокористування є його цільовий характер, плановість і тривалість, ліцензування, врахування надзвичайного значення у житті суспільства тощо. При цьому виділяють такі групи

природокористування, як право загального і спеціального використання землі, вод, лісів, надр, тваринного світу та інших природних ресурсів.

Суб'єктами права загального користування природними ресурсами можуть бути, згідно з Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища», усі громадяни для задоволення найрізноманітніших потреб і інтересів. Воно здійснюється громадянами безкоштовно і безліцензійно, тобто для цього не потрібен відповідний дозвіл уповноважених органів і осіб. Загальним є, наприклад, використання парків, скверів, водойм, лісів, збір дикорослих ягід, грибів, горіхів і т. ін. Право загального природокористування закріплене у Конституції України: «Кожний громадянин має право користуватися природними об'єктами права власності народу відповідно до закону».

Похідним від загального природокористування є спеціальне використання природних ресурсів. На відміну від першого, це використання конкретних природних ресурсів, що здійснюється громадянами, підприємствами, установами і організаціями у випадках, коли відповідна, визначена у законодавстві частина природних ресурсів передається їм для використання. Як правило, така передача має вартість і визначена в часі. Надання природних ресурсів відбувається на основі спеціальних дозволів - державних актів на право постійного користування.

Крім прав суб'єктів, як природокористувачів, сучасною юридичною наукою сформовані й інтенсивно розвиваються екологічні права і обов'язки. Так, у Конституції України записано, що «кожен має право на безпечне для життя і здоров'я довкілля та на відшкодування завданої порушенням цього права шкоди. Кожному гарантується право вільного доступу до інформації про стан довкілля, про якість харчових продуктів і предметів побуту, а також право на її поширення». Аналогічні формулювання є й у Законі України «Про охорону навколишнього природного середовища», бо це право - одне з основних прав людини. Цьому праву відповідає обов'язок держави забезпечувати здійснення санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на поліпшення та оздоровлення

навколишнього природного середовища.

Усі екологічні права громадян захищаються і відновлюються у судовому порядку. Поряд з правами Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» передбачає і певні обов'язки громадян. Так, незалежно від того, є громадяни природокористувачами, чи ні, - вони зобов'язані берегти природу, раціонально використовувати її запаси, не завдавати шкоди. Крім того, Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» покладає на громадян і підприємства, установи й організації, як суб'єктів спеціального використання природних ресурсів, спеціальні обов'язки. Так, плата за спеціальне природокористування встановлюється на основі нормативів плати і лімітів використання природних ресурсів. Ці нормативи визначаються з урахуванням розповсюдження природних ресурсів, їх якості, можливості використання, місцезнаходження, можливості переробки і зберігання відходів. До того ж суб'єкти спеціального природокористування зобов'язані сплачувати певні кошти за забруднення навколишнього природного середовища, що встановлюються за викиди у атмосферу забруднюючих речовин; скидання забруднюючих речовин на поверхню води, у територіальні і морські води, а також під землю.

Контроль у сфері природовикористання і охорони навколишнього природного середовища здійснюється шляхом перевірки, нагляду, обстеження, інвентаризації та експертиз. Він може здійснюватись як уповноваженими державними органами, так і громадськими формуваннями [36].

До основних пріоритетів охорони довкілля та раціонального використання природних ресурсів належать:

- ✓ гарантування екологічної безпеки ядерних об'єктів і радіаційного захисту населення та довкілля, зведення до мінімуму шкідливого впливу наслідків аварії на Чорнобильській АЕС;
- ✓ поліпшення екологічного стану басейнів рік України та якості питної води;
- ✓ стабілізація та поліпшення екологічного стану в містах і промислових центрах Донецько-Придніпровського регіону;

- ✓ будівництво нових та реконструкція діючих потужностей комунальних очисних каналізаційних споруд;
- ✓ запобігання забрудненню Чорного та Азовського морів і поліпшення їх екологічного стану;
- ✓ формування збалансованої системи природокористування та адекватна структурна перебудова виробничого потенціалу економіки, екологізація технологій у промисловості, енергетиці, будівництві, сільському господарстві, на транспорті;
- ✓ збереження біологічного та ландшафтного різноманіття, заповідна справа.

ВИСНОВКИ

Можливості супутникових технологій настільки ефективні й універсальні, що їх широко використовують для розв'язання геодезичних задач найвищої точності. У зв'язку з цим практично зникла необхідність у тимчасових базових станціях, які до не давна були основою застосування відносного методу в GNSS спостереженнях. Сьогодні створюють GNSS станції, що працюють за принципами постійних станцій EUREF – Європейського підкомітету з референцних точок, або IGS – Міжнародної служби GNSS. Такі станції називаються референцними, оскільки їхні координати ретельно визначаються й уточнюються, тобто безпосередньо контролюються.

На відміну від «класичних» постійних станцій, референцні станції об'єднуються в мережу, що слугують для реалізації технології RTK в режимі реального часу. Тут референцна станція залишається активною, тобто такою, що підтримує зв'язок із комп'ютерним центром у режимі реального часу. Це призвело до появи так званих активних референцних станцій та їх мережі. З геодезичної точки зору, мережі активних референцних станцій є більш щільними мережами, ніж мережі постійних референцних станцій, хоча вони відрізняються між собою за функціями, точністю та інфраструктурою.

Якщо основним геодезичним завданням мережі постійних референцних станцій IGS і EPN, які її складають, є глобальна система координат ITRS та її практична реалізація, ITRF із використанням усіх доступних просторових геодезичних методів, або IGS/IGb, що є заснованою лише на GNSS спостереженнях. Завдання активної мережі референцних станцій, як мережі згущення IGS та EPN полягає в забезпеченні координатної підтримки користувачів, шляхом поширення реалізації глобальної, регіональної, національної системи відліку.

У кваліфікаційній роботі представлено послідовність дій та результат визначення координат пункту Державної геодезичної мережі Збиранка методом GNSS спостережень з метою порівняння результатів значень координат за

допомогою методу одержання даних від 3-ох референцних станцій – Geoterrace, Zakpos та System.Net.

На основі аналізу оброблених результатів GNSS-спостережень на референцних станціях можна з упевненістю сказати, що більшість із них гарантують координати на рівні точності 1-2 см.

Зокрема, точність реалізації системи ITRF на постійних референцних станціях на разі становить 3-5 мм за координатами та менше 1 мм на рік за швидкістю руху штучних супутників землі. Така точність досягається за умови стабільної роботи станцій протягом кількох років в умовах постійного розташування антен, що знаходяться на GNSS приймачах.

Точність ущільнених GNSS мереж, зокрема мереж активних референцних станцій, не повинна перевищувати 1-2 см, з огляду на їхнє розташування та конфігурацію, стабільність встановленняю калібрування приймальних антен, а також врахування періоду безперервної роботи. Це пов'язано з тим, що сервіси мережі активних референцних станцій у режимі RTK мають забезпечувати користувачам, які виконують геодезичні та топографічні роботи, можливість визначення координат із точністю 3-5 см, а у звичайному статичному режимі – на рівні 2-3 см.

Інфраструктура активної мережі референцних GNSS станцій має включати в себе відповідне програмне забезпечення, що формує мережеве рішення на основі їх даних у режимі реального часу. Рівень цих послуг забезпечується репрезентативністю опорних координат, що контролюється програмним забезпеченням мережі через моніторинг референцних станцій, а також можливість одержання якісних спостережень на цих пунктах.

Таким чином, в Україні наявні можливості щодо згущення геодезичної мережі від:

1) постійних GNSS-станцій IGS/EPN – для отримання координат у реалізації ITRS/ETRS89;

2) постійних станцій ГНСС IGS/EPN (реалізація ITRF2000, координати перераховані на епоху 2005 року) – для отримання координат УСК-2000;

3) станцій GNSS Державної геодезичної мережі – для отримання координат в системі координат УСК-2000.

Тому, для функціонування мережі активних референцних GNSS станцій особливо важливими є технології спостереження та обробки, встановлення, моніторингу значень координат.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Деякі питання застосування геодезичної системи координат: Постанова Кабінету Міністрів України № 1259 від 22.09.2004 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1259-2004-%D0%BF#Text>.
2. Земельний кодекс України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>.
3. Інструкція з виконання топографо-геодезичного знімання у масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000, 1:500: Наказ Головного управління геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України № 56 від 09.04.1998 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0393-98#Text>.
4. Інструкція про встановлення, відновлення меж земельних ділянок в натурі або на місцевості та їх закріплення межовими знаками: Наказ Державного комітету України із земельних ресурсів № 376 від 18.05.2010 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0391-10#Text>.
5. Калинич І. В., Гриник Г. Г., Ничвид М. Р. Геодезія: навч. посібник. Ужгород, 2020. 248 с.
6. Калинич, І. В., Савчук, С. Г., Проданець, І. І. 10-річна діяльність першої в Україні мережі активних референцних станцій ЗАКРОС. Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні, лісовпорядкуванні та природокористуванні”. 2018. С. 5-13.
7. Катренко Л.А., Пістун І.П. Охорона праці в галузі освіти: Навчальний посібник. 2-ге вид., доп. - Суми: ВТД «Університетська книга», 2004. 304 с.
8. Координати класу А для станцій EPN. URL: ftp://epncb.oma.be/epncb/station/coord/EPN/EPN_A_IGb08.SSC.
9. Літнарівч Р. М. Геодезія. Планові державні геодезичні мережі. Чернігів, 2002. 71 с.
10. Могильний С. Г., Войтенко С. П. Геодезія. Частина перша. Друге видання, виправлене та доповнене. Донецьк, 2003. 458 с.
11. Островський А. Л. та ін. Геодезія. Частина друга. Львів, 2008. 564 с.

12. Островський А. Л., Мороз О. І., Тартачинська З. Р., Гарасимчук І. Ф. Геодезія. Частина перша. Топографія. Львів, 2011. 440 с.
13. Про внесення змін до Порядку побудови Державної геодезичної мережі: Проект постанови Кабінету Міністрів України від 27.09.2019 р. URL: <http://www.drs.gov.ua/wp-content/uploads/2020/05/705.pdf>.
14. Про затвердження Порядку щодо використання Державної геодезичної референцної системи координат УСК-2000 при виконанні робіт із землеустрою: Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України № 509 від 02.12.2016 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1646-16#Text>.
15. Про топографо-геодезичну, картографічну діяльність: Закон України № 353-XIV від 23.12.1998 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/353-14#Text>.
16. 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.
17. Рижок З.Р. Застосування систем координат у структурі геопросторових даних. Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XXII Мінар. наук.-практ. форум. (м. Львів, 5-7 жовтня 2021 р.). Львів, 2021. С. 22-25.
18. Савчук С. Г. Опрацювання даних ГНСС-спостережень на активних референцних станціях (2013-2014 р.р.). Вісник геодезії та картографії. 2015. № 4. С. 3-11.
19. Савчук С. Г., Ванчура О.І., Доскіч С.В. Зведений каталог координат активних референцних станцій України: 2015-2017 р.р. URL: http://zakpos.zakgeo.com.ua/download/Zvit_2018.pdf.
20. Савчук С. Перша мережа активних референцних станцій в Україні ZAKPOS. Етапи становлення та початок діяльності. Геопрофіль. 2010. № 1. С.16-23.
21. Савчук С. Проблемні питання під час використання сучасних супутникових технологій визначення координат. Геодезія, картографія і

аерофотознімання. 2007. № 69. URL: https://vlp.com.ua/files/03_71.pdf.

22. Савчук С., Калинич І., Проданець І. Обробка даних спостережень з референцних станцій мережі ZAKPOS. Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та лісовпорядкуванні. 2009. С.66-71.

23. Система глобального позиціонування. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/GPS>.

24. Тарапатов, М. М.. Державна референцна система координат УСК-2000 та її зв'язок із іншими світовими і європейськими системами координат. Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. 2007. № 7. С. 174-180. URL: https://goik.univer.kharkov.ua/wp-content/files/issue_7/7_45.pdf.

25. Шевченко Т. Г., Мороз О. І., Тревого І. С. Геодезичні прилади. Львів, 2009. 264 с.

26. Шумаков Ф. Т. Супутникова геодезія: конспект лекцій для студентів 4 курсу денної форми навчання, спец. 7.070900 «Геоінформаційні системи та технології». Харків, 2009. 88 с.

27. About GNSS. URL: <https://geoterrace.lpnu.ua/gnss-merezha/shcho-take-gnss>.

28. EPN. Європейська перманентна мережа. URL: <http://www.epncb.oma.be/22>.

29. Hofmann-Wellenhof, B., Lichtenegger, H., & Wasle, E. GNSS—global navigation satellite systems: GPS, GLONASS, Galileo, and more. Springer Science & Business Media. 2007.

30. ITRF2014. URL: <https://itrf.ign.fr/en/solutions/itrf2014>.

31. NGCNET. URL: <http://www.ngcnet.com.ua/index.php>.

32. Stupen R., Ryzhok Z., Stupen N., Stupen O. Application of remote sensing technologies to determine the content of soil fertility main elements. Management, Economic Engineering in Agriculture and rural development. Vol. 21, Issue 1. P. 735-740. URL: <http://managementjournal.usamv.ro/index.php/scientific-papers/2473-application-of-remote-sensing-technologies-to-determine-the-content-of-soil-fertility-main-elements>.

33. System Solutions. System.NET. URL: <https://systemnet.com.ua>.
34. TNT GNSS Network. URL: www.net.tnt-tpi.com.
35. ZAKPOS. URL:
http://zakpos.zakgeo.com.ua/index.php?option=com_content&task=view&id=18&Itemid=86.
36. Екологічне законодавство та правова охорона навколишнього природного середовища. URL: <https://osvita.ua/vnz/reports/law/9684/>.