

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури та будівництва «ІФНТУНГ-ДонНАБА»
Кафедра геодезії та землеустрою

Фединяк Владислав Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 528.16
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Оцінка точності веб-сервісів пост-обробки GNSS-даних для геодезичного
позиціонування

(назва роботи)

193 Геодезія та землеустрій

(назва освітньої програми)

193 Геодезія та землеустрій

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів
мають посилання на відповідне джерело:

Здобувач освітнього ступеня

В.І. Фединак

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник Пилип'юк Ростислав Романович , к.т.н, доцент

(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту
Завідувач кафедри
геодезії та землеустрою

М.М. Приходько

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ – 2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури та будівництва «ІФНТУНГ-ДОННАБА»
Кафедра геодезії та землеустрою
Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій
Освітньо-професійна програма Геодезія та землеустрій

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ГКЗ
Приходько М. М.

«__» _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Фединяку Владиславу Ігоровичу

1. Тема роботи « Оцінка точності веб-сервісів пост-обробки GNSS-даних для геодезичного позиціонування»

Керівник роботи доцент Пилип'юк Р.Р.

Наказ ректора від « 8 » червня 2026 року № 292/7 .

2. Термін подання студентом роботи – 24 червня 2026 року.

3. Вихідні дані до роботи: _

Матеріали переддипломної практики.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Методи відносного позиціонування та методи точного точкового позиціонування

2. Дані та методологія

3. Результати дослідження

5. Перелік графічного матеріалу: _____

6. Дата видачі завдання – «08» квітня 2026 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання	Примітка
1	Отримання завдання на виконання бакалаврської роботи. Опрацювання рекомендованої літератури.	08.04.26 15.04.26	
2	Складання попереднього плану та змісту бакалаврської роботи.	19.04.26 25.04.26	
3	Досліджувані території	26.04.26 12.05.26	
4	Методи дослідження	13.05.26 29.05.26	
5	Результати дослідження	30.05.26 15.06.26	
6	Формування пояснювальної записки	16.06.26 18.06.26	
7	Оформлення бакалаврської роботи та додатків до неї, складання висновків.	19.06.26 23.06.26	

Студент

(підпис)

Фединяк В.І.

(розшифровка підпису)

Керівник

(підпис)

Пилип'юк Р.Р.

(розшифровка підпису)

Анотація

Світові навігаційні супутникові системи (GNSS) є фундаментальними для надання високоточних просторових координат, що є критично важливим для геодезичних робіт, землевпорядкування та інженерно-вишукувальної діяльності на українських теренах.

У нинішній ситуації особливої актуальності набуває застосування вітчизняних систем відліку та функціонуючих мереж базових станцій.

Завданням нашої роботи є визначення якості та сталості координатних визначень, здобутих через онлайн-сервіси для постобробки GNSS-вимірювань, використовуючи як методи відносного визначення місця розташування (Relative Positioning, RP), так і методи точного точкового позиціонування (Precise Point Positioning, PPP), беручи до уваги варіації у видимості супутників.

Проведено натурні статичні вимірювання системи GNSS у трьох ключових точках, розташованих у місцевостях з різним ступенем присутності природних і створених людиною перешкод, типових для міської забудови та околиць міст на території України.

Спостереження, кожне тривалістю три години, проводилися упродовж шести послідовних діб.

Отримані масиви GNSS-даних були оброблені із застосуванням інтернет-ресурсів, призначених як для визначення положення відносно базових станцій (зокрема, SistemSolution та ZAKPOS), так і для високоточного визначення абсолютних координат.

Аби гарантувати просторову відповідність отриманих даних, визначення координат опорних точок було трансформовано до офіційної державної системи координат України, а саме УСК-2000.

Для цього були залучені відомості, отримані з мереж постійно функціонуючих референцних станцій «SistemSolution» та «ZAKPOS». За

базові (еталонні) показники були взяті середньозважені значення координат, обчислені на основі шестиденної тривалості вимірювань, використовуючи функціонал програмного пакету Bernese GNSS Software версії 5.0.

Більш глибокий аналіз виявив, що точність у визначенні просторового положення значною мірою обумовлена як умовами видимості супутникової системи, так і вибраним порядком обробки даних.

Водночас було з'ясовано, що застосування мережевих інструментів для обробки даних GNSS-вимірювань, інтегрованих з українськими мережами постійних референцних станцій, забезпечує отримання достовірних даних для геодезичного визначення місця розташування у національній системі координат УСК-2000, тим самим доводячи їхню практичну цінність для проведення геодезичних та землепорядкувальних заходів на території України.

Ключові слова: GNSS; УСК-2000; точне точкове позиціонування (PPP); відносне позиціонування; SistemSolution; ZAKPOS; статичні GNSS-спостереження.

Abstract

Global Navigation Satellite Systems (GNSS) are fundamental for providing high-precision spatial coordinates, which is critically important for geodetic works, land management and engineering and prospecting activities in Ukrainian territories.

In the current situation, the use of domestic reference systems and functioning networks of base stations is of particular relevance.

The objective of this scientific work is to determine the quality and stability of coordinate determinations obtained through online services for post-processing of GNSS measurements, using both Relative Positioning (RP) and Precise Point Positioning (PPP) methods, taking into account variations in satellite visibility.

Field static measurements of the GNSS system were carried out at three key points located in areas with varying degrees of presence of natural and man-made obstacles, typical of urban development and the outskirts of cities in Ukraine.

Observations, each lasting three hours, were conducted over six consecutive days.

The obtained GNSS data sets were processed using Internet resources designed both for determining the position relative to the base stations (in particular, SistemSolution and ZAKPOS) and for highly accurate determination of absolute coordinates.

To guarantee the spatial correspondence of the obtained data, the determination of the coordinates of the reference points was transformed to the official state coordinate system of Ukraine, namely USK-2000.

For this purpose, information obtained from the networks of constantly operating reference stations "SistemSolution" and "ZAKPOS" was used.

The weighted average coordinate values calculated on the basis of a six-day measurement duration using the functionality of the Bernese GNSS Software version 5.0 software package were taken as the base (reference) indicators.

A more in-depth analysis revealed that the accuracy in determining the spatial position is largely determined by both the visibility conditions of the satellite system and the selected data processing order.

At the same time, it was found that the use of network tools for processing GNSS measurement data, integrated with Ukrainian networks of permanent reference stations, ensures the receipt of reliable data for geodetic determination of location in the national coordinate system USK-2000, thereby proving their practical value for conducting geodetic and land management activities on the territory of Ukraine.

Keywords: GNSS; USK-2000; precise point positioning (PPP); relative positioning; SistemSolution; ZAKPOS; static GNSS observations.

Зміст

Вступ	9
1. Методи відносного позиціонування та методи точного точкового позиціонування	13
1.1 Веб-сервіси відносного позиціонування та постобробки PPP	17
2. Дані та методологія	28
2.1 Польові дослідження	28
2.2 Особливості даних статичних GNSS-спостережень.....	33
3. Результати дослідження	37
3.1 Обробка GPS-даних із використанням програмного забезпечення Bernese GPS версії 5.0	37
3.2 Обробка даних із використанням веб-сервісів постобробки GNSS....	39
3.3 Порівняння програмного забезпечення Bernese GPS та веб-сервісів постобробки GNSS	43
3.4 Аналіз результатів.....	46
Висновки	51
Список використаної літератури	54

Вступ

У нинішній фазі еволюції геодезичної теорії та її практичного застосування, методи визначення місця розташування за допомогою супутників постають як провідне джерело для здобуття просторових даних високої точності.

Сукупність технологій, об'єднаних під терміном глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), дає змогу швидко, впевнено та з високою точністю встановлювати координати як у світових, так і у внутрішніх державних системах відліку, що набуває вирішального значення для потреб землевпорядкування, ведення кадастру, інженерно-технічних досліджень та територіального планування на українських землях.

Масове інтегрування GNSS-рішень спричинило значну трансформацію методів, які використовуються у геодезичних зйомках, та стимулювало прогрес паралельних напрямків діяльності.

Супутникова локація знаходить широке застосування у процесі ведення кадастру, виконання геодезичних знімків інженерного призначення, спостереження за зміщеннями штучних конструкцій та земного покриття, виявлення тектонічних рухів, гідрографічних промірів, більш того, вона є частиною новітніх геоінформаційних архітектур (ГІС).

Також системи GNSS виступають незамінним елементом комплексних технологій знімання з землі, пересувних апаратів та повітряних платформ, особливо коли їх поєднують із лазерним скануванням (LiDAR) та фотограмметричними методами.

Незважаючи на велику кількість сфер практичного використання, усі способи GNSS-локалізації спираються на два базові принципи — вимірювання положення відносно відомої точки та визначення координат у загальній системі.

Відносна локалізація (Relative Positioning, RP) зазвичай надає найкращу точність завдяки залученню мережі референцних станцій, тоді як підхід точного точкового визначення положення (Precise Point Positioning, PPP) дає змогу обчислювати координати напряду, спираючись на глобальні траєкторії супутників та їхні часові шкали.

Хоча обидві методології активно використовуються у фазі аналізу після збору даних, їхня продуктивність суттєво обумовлена станом збору даних, умовами огляду супутників та застосованими способами обробки інформації.

Для здобуття високої точності у визначенні просторового розташування критично необхідним є глибоке усвідомлення чинників, котрі спричиняють невизначеність у GNSS-вимірюваннях.

Серед таких чинників можна виокремити зміщення центру фази антени, явища багатопроменевого поширення сигналу, атмосферні впливи, а також наявність як природних, так і штучно створених об'єктів, типових для територій із насиченою забудовою чи складною місцевістю.

З огляду на це, критично важливим стає застосування стійких алгоритмів обробки й уважного вивчення отриманих результатів визначення координат.

Обробку даних GNSS традиційно здійснювали за допомогою спеціалізованих програмних пакетів, як дослідницького, так і комерційного спрямування, що вимагало від операторів значних теоретичних знань та напрацьованого практичного досвіду.

Ба більше, висока ціна ліцензій на подібні програмні засоби нерідко стає бар'єром для їхнього використання, особливо коли йдеться про невеликі компанії чи освітні й пілотні розробки.

Саме тому останнім часом спостерігається стрімкий ріст популярності веб-сервісів для постобробки даних GNSS, розрахованих на значно ширшу аудиторію користувачів.

Онлайн-платформи для постобробки даних GNSS інтегрують методології, що базуються на наукових здобутках, із зручним для користувача дизайном, даючи змогу отримувати результати визначення координат із високою точністю, не вимагаючи від фахівця глибокого розуміння заплутаних математичних розрахунків.

Значна частина цих сервісів надається на умовах відкритого доступу або за спрощеною моделлю оплати, що суттєво підвищує їхню привабливість для застосування на практиці в межах України, особливо коли йдеться про їхню взаємодію з національними мережами постійно діючих референцних станцій та їхніми регіональними розгалуженнями.

Сучасні геодезичні проєкти, що виконуються на українській території, вимагають особливої уваги до належного застосування Української Системи Координат 2000 (УСК-2000), оскільки саме вона виступає офіційним репером для здійснення топографічних, землевпорядних (кадастрових) та інженерно-геодезичних завдань.

Зважаючи на те, що численні світові сервіси постобробки супутникових навігаційних систем (GNSS) видають результати у загальноприйнятих системах координат (наприклад, ITRF або її варіантах), для ефективного використання цих відомостей необхідно виконати належне перетворення координат у систему УСК-2000.

Якість такого перетворення має прямий вплив на фінальну точність визначення місцеположення та забезпечує його сумісність із вітчизняними геодезичними мережами.

У межах поточного дослідження, приведення GNSS-визначень до системи УСК-2000 відбувається з урахуванням специфічних параметрів національної геодезичної мережі та з імпортом інформації, отриманої від діючих українських мереж постійних референцних станцій.

Шляхом впровадження мереж SistemSolution та ZAKPOS стає можливим досягнення узгодженості просторового розташування даних,

отриманих із супутникових вимірювань, із загальнодержавними геодезичними системами, а також покращення надійності визначення точності, яку демонструють методики визначення координат як відносним, так і точковим способом, безпосередньо в процесі експлуатації.

Отже, оперування системою УСК-2000 та застосування належних алгоритмів перетворення координат стає обов'язковою вимогою для інтегрування супутникових даних у сферу геодезії та землевпорядкування на території України.

У зв'язку з вищевикладеним, надзвичайно важливим є вивчення потенціалу та рівня точності, які надають інтернет-сервіси для післяобробки GNSS-інформації, розглядаючи їх як можливу заміну традиційним програмним комплексам.

Головним завданням цього дослідження є зіставлення результатів, отриманих шляхом опрацювання статичних GNSS-даних за допомогою програми Bernese GPS версії 5.0, з даними, обробленими двома інтернет-ресурсами для відносної постобробки, що базуються на мережах постійних українських станцій (SistemSolution та ZAKPOS), а також трьома сервісами високоточного точкового позиціонування (CSRS-PPP, Magic-PPP, GAPS).

З цією метою GNSS-вимірювання було проведено на трьох ретельно відібраних опорних точках на місцевості, які мали відмінні умови для спостереження за супутниками.

1. Методи відносного позиціонування та методи точного точкового позиціонування

Основа супутникової навігації GNSS полягає у вивченні отриманих сигналів, які трактуються як виміри віддалей між апаратурою користувача та орбітальними апаратами.

Ступінь цих віддалей обчислюється через зіставлення моменту часу або різниці фаз між тими сигналами, що надійшли від супутників, та еталонними сигналами, сформованими бортовим устаткуванням приймача.

Системи GNSS оперують двома головними видами даних: псевдовимірами дальності за допомогою кодів та вимірами фази хвилі-носія, які вирізняються суттєво різними характеристиками та рівнем точності.

Виміри на базі кодів зазвичай дають змогу досягти точності, що вимірюється у метрах, тоді як використання фазових даних носійної частоти відкриває можливість отримати результати з точністю до одиниць міліметра.

Аби підняти рівень якості вимірювань коду, можна використати як спеціалізовані технології приймачів, так і методи згладжування.

Однак, вимірювання фази мають свою фундаментальну відмінність — це наявність невизначеності щодо повної фази, що спричинена невідомою кількістю цілих циклів довжини хвилі між супутником та приймачем.

Правильне встановлення цих фазових невизначеностей є вирішальним моментом для досягнення високої точності у визначенні місцезнаходження за допомогою технологій GNSS.

У геодезичній сфері найбільш апробованим способом для досягнення високоточного супутникового позиціонування є застосування методу відносного позиціонування (позначуваного як RP).

Даний підхід вимагає задіяти мінімум два приймачі GNSS: один, розташований на точці з уже встановленими географічними координатами (що слугує базовою або опорною точкою), та один або кілька приймачів, що знаходяться у русі (роверні).

Ключова перевага RP полягає у здатності результативно нівелювати або мінімізувати вплив більшості систематичних помилок завдяки методу диференціації вимірювань.

Водночас, ступінь достовірності отриманих значень тісно пов'язаний із відстанню між опорною та рухомою станціями — коли довжина цього плеча зростає, якість визначення координат зазвичай погіршується.

Протягом минулих десятиліть методика впровадження відносного визначення місця розташування зазнала значних трансформацій.

Завдяки прогресу у створенні мереж безперервно працюючих референцних станцій (CORS) відпала потреба у створенні власних опорних мереж безпосередньо у межах території, що підлягає дослідженню.

У наш час, мережі CORS, незалежно від того, чи діють вони у світовому, регіональному, національному чи місцевому масштабах, забезпечують постійне збирання даних GNSS у режимі 24/7.

Це дає змогу користувачам визначати координати відносно інших об'єктів, використовуючи лише один приймач під час польових робіт, доповнюючи його даними, що надходять із самої мережі.

Використання мереж CORS має чимало суттєвих переваг.

До них належить зведення до мінімуму складності польових операцій, скорочення матеріальних вкладень у закупівлю обладнання, а також швидкість у створенні нових опорних пунктів.

Однак, якщо використання загальнонаціональних чи транскордонних мереж є неможливим, як альтернатива можуть слугувати загальнодоступні дані з референцних станцій, які надаються Міжнародною службою GNSS (IGS) та іншими дослідницькими організаціями.

Окрім того, для завдань, що вимагають оперативного реагування, як от РТК-визначення місцеположення, критично важливим є існування розгалуженої системи референцних станцій, що й спричинило інтенсивне формування подібних мереж як державними структурами, так і комерційними суб'єктами господарювання.

Незважаючи на значущу точність та стабільність, яку демонструє метод РР, його впровадження супроводжується певними адміністративними та технологічними бар'єрами.

Як заміна цьому, для досягнення високої точності координат пропонується використовувати спосіб точного точкового визначення положення (Precise Point Positioning, PPP), який належить до групи абсолютних методів геопозиціонування.

Завдяки введенню в обіг надточних даних про супутникові траєкторії й каліброваних хронометрів, а також завдяки оптимізації програмних комплексів для врахування різних чинників, що вносять неточності у вимірювання за допомогою GNSS, стало можливим застосування цього підходу.

Для ясного порівняння ключових характеристик методів, які використовуються у відносному та надточному точковому визначенні координат, у Таблиці 1 окреслено їхні фундаментальні відмінності, стосовно таких аспектів, як рівень досяжної точності, потреба у допоміжних засобах (інфраструктурі) та сфери практичного застосування.

Технологія PPP надає можливість здійснювати надточне визначення місця розташування, використовуючи лише один приймач GNSS, без необхідності задіювати ані локальні, ані широкого простору опорні станції.

Таблиця 1 – Порівняльна характеристика методів RP та PPP

Критерій	Відносне позиціонування (RP)	Точне точкове позиціонування (PPP)
Тип позиціонування	Відносне (диференційоване)	Абсолютне
Кількість GNSS- приймачів	Щонайменше два (база + ровер) або CORS	Один приймач
Потреба в опорній станції	Обов'язкова (локальна або CORS)	Не потребує
Використання CORS- мереж	Так (SistemSolution, ZAKPOS тощо)	Необов'язково
Використання точних орбіт і годинників	Опосередковано	Обов'язково
Тип спостережень	Диференційовані	Недиференційовані
Точність	Міліметрова– сантиметрова	Сантиметрова (після збіжності)
Залежність від довжини бази	Висока	Відсутня
Час збіжності рішення	Короткий	Довший (10–40 хв)
Придатність для RTK	Так	Ні
Складність обробки	Середня–висока	Висока
Типові застосування	Кадастр, деформації, геодезія	Моніторинг, віддалені райони

Проте, для її реалізації критично важливим є використання високоточних даних про орбіти, часові ефемериди, а також відомостей про орієнтацію Землі у просторі (ERP).

Під час виконання обробки даних за схемою PPP ведеться одночасна оцінка не лише географічних координат самого приймача, але й низки додаткових невідомих, таких як індивідуальна похибка годинника апаратури та сумарна затримка сигналу в тропосфері.

Суттю методу точкового визначення позиції (PPP) є оперування даними спостережень, які не вимагають диференціювання — тобто вимірами, зібраними лише одним приймачем, без необхідності створення різниць між різними станціями.

Математичний апарат, задіяний у PPP, є заплутанішим, якщо порівнювати з регіональними мережами (RP), адже він містить у собі

необхідність обліку широкого спектра явищ, що впливають на поширення сигналів глобальних навігаційних систем.

До них належать впливи, спричинені іоносферою та тропосферою, поправки, пов'язані з теорією відносності, а також специфічні особливості самого апаратного комплексу.

Практично у стандартних моделях PPP зазвичай опрацьовують комбінації фазових вимірювань носійної та псевдовимірів дальності, які були штучно очищені від іоносферних затримок.

Чи то застосовується позиціонування відносного типу, чи то точкового, опрацювання даних, отриманих із супутникових систем (GNSS), зазвичай вимагає використання вузькоспеціалізованих програмних комплексів — як наукового спрямування, так і комерційних.

Ці інструменти різняться за фінансовими витратами на придбання, набором функцій, а також рівнем кваліфікації, необхідним від оператора.

Тривалий процес опанування та значна вартість ліцензійних угод часто створюють бар'єри для масового користування цим ПЗ.

З огляду на це, спостерігається активне зростання популярності онлайн-платформ для подальшої обробки GNSS-даних.

Вони надають користувачам інтерфейс, що є значно простішим у використанні, а також містять механізми для автоматичної генерації оцінок кінцевих результатів.

Подібні веб-рішення видаються вельми слушними для фахівців із невисоким рівнем підготовки та мають значну практичну цінність у контексті геодезичних вишукувань прикладного характеру.

1.1 Веб-сервіси відносного позиціонування та постобробки PPP

Протягом нещодавніх років ми бачимо значне збільшення числа інтернет-платформ для подальшої обробки інформації, отриманої від

супутникових навігаційних систем (GNSS), які створюються різними дослідницькими та урядовими установами.

Ключове завдання таких служб полягає у забезпеченні можливості проведення дуже точних геопросторових вимірювань для тих користувачів, які не володіють ґрунтовними знаннями у сфері роботи з GNSS-вимірами чи не мають доступу до праймового ліцензійного софту.

Веб-сервіси (названі WB) дають змогу автоматизувати увесь цикл опрацювання даних, мінімізувати вплив людського фактора і суттєво пришвидшити отримання кінцевих даних.

Щоб втілити підхід, заснований на порівняльному розташуванні (RP), у стаціонарних умовах, як правило, задіюють веб-сервіси, що оперують на засадах вивчення різниці фазових вимірювань.

Серед таких ресурсів можна виділити мережеву платформу для оброблення даних GNSS, створену австралійською організацією Geoscience Australia (відома як AUSPOS), послугу OPUS, розроблену Національною геодезичною службою (NGS), і програмний засіб для корекції координат, запропонований Центром постійних масивів і орбіт імені Скріппса (SOPAC).

Ці сервіси сфокусовані переважно на аналізі стаціонарних спостережень GNSS і знаходять широке застосування як у геодезичній діяльності, так і в наукових дослідженнях.

Сервіси RP, коли йдеться про веб-платформи, зазвичай використовують техніку подвійної диференціації фазових даних.

Завдяки цьому вдається суттєво послабити або повністю нейтралізувати вплив переважної кількості систематичних неточностей, таких як похибки, що походять від атомних годинників супутників, їхніх розрахункових траєкторій та впливу земної атмосфери.

У межах цих сервісів дані, надані користувачем, автоматично інтегруються з даними, отриманими від найближчих постійно

функціонуючих опорних станцій чи глобальних систем, що гарантує отримання дуже точних фінальних координатних значень.

При цьому рівень точності одержаних даних все одно буде детермінований протяжністю відрізків між точками, конфігурацією мережі та умовами, за яких відбувається спостереження за супутниками.

Окрім прогресу в сфері сервісів, пов'язаних з відносним позиціонуванням, помітного розмаху набули інтернет-сервіси постобробки, котрі втілюють у життя підхід високоточного точкового визначення місця розташування (PPP).

На відміну від методів RP, послуги PPP не вимагають наявності опорних станцій, розташованих локально чи в межах певного регіону, адже їхня робота базується на використанні високоточних даних про орбіти та час супутників, які постачаються авторитетними міжнародними науковими установами.

Серед найвідоміших рішень цього спрямування можна виділити CSRS-PPP, Magic-PPP та GAPS, що дають змогу автоматично опрацьовувати первинні (недиференційовані) GNSS-вимірювання.

Онлайн-платформи, що надають послуги PPP, беруть до уваги не лише просторові координати приймального пристрою, а й інші важливі величини, як-от корекції годинника приймача та затримки сигналу через тропосферу.

Характерною рисою цих сервісів є потреба у певному часовому інтервалі для стабілізації розрахунків, протягом якого точність визначення координат неухильно поліпшується.

Попри цю особливість, сервіси PPP представляють значний інтерес для використання там, де геодезична інфраструктура слабо розвинена, наприклад, у віддалених місцевостях чи у зонах, де бракує станцій постійного моніторингу.

Підсумовуючи, інтернет-сервіси для постобробки знімків, отриманих від супутникових навігаційних систем, чи то для RP, чи для PPP, виступають потужним засобом для вирішення різноманітних прикладних геодезичних завдань.

Ці системи вміщують у собі алгоритми обробки, що ґрунтуються на наукових засадах, легкість у застосуванні та можливість доступу, що виокремлює їх як життєздатний варіант для великого спектру аудиторії — від тих, хто навчається та тільки починає свій шлях, аж до досвідчених професіоналів.

З огляду на це, оцінка потенційних можливостей та ступеня достовірності подібних сервісів постає як нагальне питання для сучасних наукових пошуків у царині визначення координат за допомогою GNSS.

Сервіси постобробки типу WB RP, де інформація GNSS збирається у стаціонарному режимі, переважно спираються на застосування фазових вимірювань, оброблених методом подвійної диференціації.

Цей метод дає змогу значно нівелювати вплив ключових чинників, що спричиняють систематичні похибки, як-от помилки у визначенні часу для супутників та приймачів.

З математичного погляду, подвійна різниця у фазових спостереженнях може бути виражена так:

$$\Delta\nabla\Phi_{ij}^{AB} = (\Phi_i^A - \Phi_j^A) - (\Phi_i^B - \Phi_j^B) = \Delta\nabla\varrho_{ij}^{AB} + \lambda \Delta\nabla N_{ij}^{AB} + \Delta\nabla\epsilon_{ij}^{AB}$$

щодо:

- Φ_j^A — спостереження фази котрі надходять із супутників i та j на приймач A ;
- Φ_j^B — ті самі фазові спостереження, зафіксовані приймачем B , але від тих самих супутників;

- $\Delta\nabla\rho^{AB}_{ij}$ — подвійна різниця у вимірах відстаней по прямому видимості між приймальними пристроями та космічними апаратами;
- λ — довжина хвилі, що відповідає несучій частоті GNSS-сигналу;
- $\Delta\nabla N^{AB}_{ij}$ — подвійна різниця, що стосується невизначеності фази, вираженої цілими числами;
- $\Delta\nabla\varepsilon^{AB}_{ij}$ — загальна залишкова складова, яка узагальнює вплив як випадкових похибок вимірювань, так і ефектів відбитого сигналу, а також тих атмосферних впливів, що не були враховані в моделі.

Застосування методики подвійних різниць дає змогу практично звести нанівець похибки, спричинені годинниками супутників та приймачів, а також суттєво нівелювати вплив затримок, спричинених іоносферою та тропосферою, особливо коли йдеться про невеликі відстані між точками.

З огляду на це, даний метод набув значного поширення у веб-застосунках, призначених для визначення координат відносним методом з високою точністю у статичних умовах.

Установами, які впроваджують концепцію точного точкового визначення положення (PPP), було розроблено низку інтернет-ресурсів та програмних рішень, сфокусованих на автоматизованій обробці даних GNSS, отриманих після збору інформації.

Ключовою рисою, притаманною методіві PPP, є оперування нерозділеними GNSS-вимірюваннями, зібраними одним апаратом, що поєднуються з високоточними даними про положення супутників та їхні часові еталони.

Базові засади цієї технології були закладені в дослідженнях, опублікованих у 1997 та 2001 роках, де доведено можливість прямого співвідношення між іоносферно-нечутливими комбінаціями вимірів на двох

частотах (як псевдодальностей, так і фаз хвилі-носія) та просторовим розташуванням споживача разом із низкою супутніх змінних.

Якщо розглядати цей метод у найпростішій формі, рівняння для обробки таких спостережень виглядатимуть так:

Щодо вимірювань відстані (псевдодальностей):

$$P^{IF} = \rho + c(\delta t_r - \delta t_s) + T + \varepsilon_P$$

Щодо спостереження фазових характеристик носійної частоти:

$$\Phi^{IF} = \varphi + c(\delta t_r - \delta t_s) + T + \lambda N + \varepsilon_\Phi$$

ок:

- P^{IF} — цей вираз являє собою сукупність псевдовимірів дальності, вільну від впливу іоносфери;
- Φ^{IF} — це сукупність вимірювань фазового зсуву несучої, очищена від впливу іоносфери;
- ρ — відстань, виміряна геометрично, між апаратом GPS/GNSS та приймальним пристроєм;
- c — стала величина, що описує швидкість поширення світла;
- $\delta t_r, \delta t_s$ — поправки, внесені у синхронізацію часу апаратури приймача та космічного апарату відповідно;
- T — затримка, спричинена проходженням сигналу крізь тропосферу;
- λ — довжина хвильового фронту носійної частоти;
- N — невизначений цілочисельний множник фази;
- $\varepsilon_P, \varepsilon_\Phi$ — випадкові та систематичні похибки, присутні у вимірах дальності та фази.

На противагу підходам, що базуються на відносній локалізації, у методі точного позиціонування в абсолютних координатах (PPP) усі змінні — позиційні дані приймача, корекція його внутрішнього хронометражу, затримка сигналу в тропосфері та невідомі цілі числа фазових циклів — визначаються без утворення різницевих величин між вимірювальними пунктами.

Такий підхід неминуче веде до ускладнення системи рівнянь, що описує модель, та вимагає певного періоду для стабілізації результату, проте він гарантує високу точність визначення місцеположення без необхідності залучення локальних мереж референцних станцій.

Саме ця характеристика надає методу PPP особливої цінності для застосування у географічно ізольованих зонах, а також тоді, коли доступ до загальнодоступних мереж постійно діючих станцій (CORS) є ускладненим або недосяжним.

Остаточною частиною математичних конструкцій, що описують GNSS-вимірювання, є складові частини похибок цих вимірів.

Сюди відносяться випадкові коливання (шум) спостережень, впливи, спричинені багаторазовим проходженням сигналу (багатопроменевість), а також систематичні зсуви, притаманні апаратурі приймача (що варіюються залежно від параметра, який фіксується), й відповідні зміщення, що походять від супутника.

Крім перелічених аспектів, у невиправлену частину рівнянь вимірювань включаються й інші ефекти, які або повністю ігноруються моделлю, або враховуються лише частково, здатні позначитися на фінальній достовірності визначення просторового положення.

Онлайн-платформи, призначені для подальшої обробки GNSS-даних (чи то для визначення положення відносно референцних точок — WB RP, чи для високоточного абсолютного визначення точок — WB PPP), впроваджують математичні процедури, розроблені на базі передового

наукового програмного забезпечення, яке спеціалізується на геодезичному опрацюванні даних, отриманих від супутників.

Незважаючи на те, що кінцевому споживачеві ці послуги постають у формі полегшеного інтерфейсу, усередині машини процесори здійснюють комплексну апробацію показників, беручи до уваги заплутані схеми помилок та необхідні виправлення.

Перелік найважливіших ознак, функціональних потенціалів і ґрунтовної категоризації веб-засобів для постобробки з використанням технологій RP та PPP зібрано до купи та візуалізовано у другому табличному матеріалі.

Таблиця 2: Веб-сервіси постобробки GNSS-даних для RP та PPP

Сервіс	Метод	Програмне забезпечення	Вебсайт
AUSPOS	RP	Bernese	http://www.ga.gov.au/bin/gps.pl
OPUS		PAGES	https://www.ngs.noaa.gov/OPUS/
SCOUT		GAMIT	http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/SCOUT.cgi
CSRS-PPP	PPP	NRCanPPP	http://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/tools-utils/ppp.php
GAPS-PPP		GAPS	http://gaps.gge.unb.ca/
Magic-PPP		MagicPPP	http://magicgnss.gmv.com/ppp
APPS		GIPSY	http://apps.gdgps.net/
Trimble RTX		Trimble	https://www.trimble.com/positioning-services/

Вичерпну інформацію про те, які функції виконують веб-платформи для подальшої обробки вимірювань GNSS, можна знайти на офіційних інтернет-сторінках цих сервісів.

Перелік посилань на ці ресурси впорядковано і представлено у таблиці 2.

Щоб розпочати обробку, користувачам надається можливість завантажувати файли GNSS-вимірювань або через спеціальний веб-

інтерфейс, або застосовуючи протокол FTP, що реалізується через звичайне мережеве підключення.

Як правило, висновок, що повертається клієнту, охоплює розраховані місця розташування об'єктів, поряд із показниками надійності, вираженими як середньоквадратичні похибки.

Деякі спеціалізовані платформи, окрім власне числових даних, генерують деталізовані аналітичні документи, здатні включати зображення, графіки зближення отриманих рішень та супутні статистичні відомості.

Попри те, що багато інтернет-засобів для подальшої роботи з даними GNSS доступні для будь-кого, окремі з них вимагають проходження реєстрації або мають певні обмеження на використання, навіть якщо послуга є безоплатною.

Слід зважити на те, що існує низка умов, які визначають ступінь точності визначення координат через використання WB-сервісів.

Серед них фігурують методики обробки й математичні апарати, що застосовуються в кожному окремому сервісі, ступінь достовірності додаткової інформації та зовнішніх продуктів (включно з координатами базових станцій, корекціями до траєкторій супутників та їхнього хронометражу), тривалість збору даних із супутникових навігаційних систем, а також якість первинних даних, здобутих на місцевості.

Комплексна дія цих елементів зумовлює відтворюваність та високу точність здобутих під час визначення позиції значень.

Хоча онлайн-сервіси для подальшої обробки GNSS-даних переважно націлені на тих, хто має лише початкові знання, вони водночас виступають дієвим засобом у реалізації ґрунтовних геодезичних завдань.

Використання цих рішень дає змогу значно скоротити кошти, які витрачаються на купівлю софту, апаратного забезпечення, периферійного устаткування, а також на залучення фахівців та організацію забезпечення логістики для виконання вимірювань.

Онлайн-платформи для подальшої обробки супутникових навігаційних даних (GNSS), які підтримують як відносне (RP), так і високоточне точкове (PPP) визначення координат, активно застосовують прецизійні матеріали, що надаються Міжнародною службою GNSS (IGS).

Ця служба акумулює роботу понад двох сотень установ із більш ніж ста держав і має більш ніж двадцятирічну історію безперебійного випуску, опрацювання та розповсюдження інформації, отриманої від GNSS.

Окрім того, що IGS робить значний внесок у прогрес та уніфікацію технологій GNSS у світовому масштабі, на нього також покладено вирішальну роль у процесах накопичення, зберігання та надання доступу до детальних орбітальних даних супутників GPS та ГЛОНАСС, результатів роботи атомних годинників супутників та орбітальних систем, відомостей про зміну орієнтації Землі у просторі (ERP), географічних координат і швидкостей функціонуючих приймачів, а також даних про стан атмосфери.

Окрім IGS, чимало інших міжнародних інституцій та дослідницьких осередків долучаються до формування високоточних GNSS-даних.

Серед них варто виділити Лабораторію реактивного руху (JPL), Природні ресурси Канади (NRCan), Європейський координаційний центр (CODE), а також Федеральне відомство з картографії та геодезії Німеччини (BKG).

Матеріали та результати роботи цих організацій становлять невід'ємну частину нинішніх підходів до GNSS-визначення координат і знаходять широке застосування у веб-службах для постобробки RP та PPP.

На теренах України застосування веб-сервісів для пост-обробки GNSS-даних набуває неабиякої практичної ваги.

Причина цьому полягає у вимозі обов'язкової відповідності результатів супутникових зведень державній системі координат УСК-2000, що є імперативом для здійснення всіх топографо-геодезичних, кадастрових та землевпорядних заходів.

Зважаючи на те, що переважна частина веб-сервісів видає координати у світових еталонних рамках (зокрема ITRF та її варіантах), неминуchoю стадією їхнього практичного впровадження стає наступний перехід до системи УСК-2000.

Саме правильне проведення такого перерахунку гарантує належну просторову узгодженість отриманих GNSS-координат із даними, що містяться у Державній геодезичній мережі України, а також із національними накопичувачами геопросторової інформації.

Використання сервісів WB разом із вітчизняними мережами постійних референцних станцій (ППС) істотно полегшує виконання геодезичних операцій на території нашої держави.

Це особливо помітно там, де є значна забудова, складний ландшафт або ускладнений доступ до місцевої мережі базових станцій.

Актуальність цього підходу зростає при проведенні кадастрових зйомок, інженерно-геодезичних досліджень, спостережень за зміщеннями об'єктів та при фінальній перевірці виконаних робіт, де критично важливі швидкість отримання та прийнятна точність визначення просторового положення.

Отже, сервіси постобробки GNSS-даних від WB, інтегровані з державною системою координат УСК-2000, являють собою дієвий та вигідний за витратами інструментарій для вирішення великого кола практичних геодезичних завдань в Україні.

2. Дані та методологія

2.1 Польові дослідження

В рамках цієї роботи було здійснено низку практичних випробувань, спрямованих на з'ясування, наскільки дієвими є техніки відносного визначення місця (RP) та високоточного визначення координат у точці (PPP) за умов варіативної видимості супутників.

З цією метою ми задіяли три стаціонарні геодезичні бази (BM), розміщені у локаціях із різним рівнем затінення від природних та рукотворних об'єктів.

Такий підхід дав змогу дослідити, як кожен із цих методів реагує на зміну якості приймання сигналів глобальних навігаційних систем.

Протягом шести різних діб – 15, 16, 17, 20, 21 та 24 травня 2021 року – було проведено фіксацію статичних даних GNSS, тривалість кожного сеансу становила по три години.

Це відповідає дням Julian (DoY) 135–137, а також 140–141 та 144 GPS-календаря.

Завдяки такому розподілу вимірювань у часі отримано суттєву різноманітність як у конфігураціях супутникових систем, так і в атмосферних параметрах, що є необхідною умовою для неупередженої апробації стійкості та відтворюваності отриманих геопросторових визначень.

Зведення чисельних даних спостережень на кожній фіксованій точці зробило можливим мінімізувати вплив систематичних неточностей на фінальні обчислення.

А саме, явища, пов'язані з багатошляховим поширенням сигналу, однаково відображаються як у процедурах опрацювання інформації у Bernese GNSS Software, так і у вихідних даних, здобутих через інтернет-

платформи, що дає нагоду частково нівелювати ці ефекти методом накопичення середніх значень.

Додатково, помилки, що виникають через неправильне позиціонування антени над опорними точками, стають менш суттєвими або ж повністю елімінуються при розрахунку усереднених координат на основі повторюваних вимірювальних сесій.

Серед головних елементів, котрі визначають точність отриманих даних від систем супутникової навігації (GNSS), виділяється явище поширення сигналів з чисельними відбиттями.

Будь-який сигнал, що зазнав відбиття чи огинання (дифракції), долає більшу відстань, аніж той, що надходить безпосередньо від супутникового апарату.

Це закономірно означає, що певна точка фази чи коду прямого променя досягає приймальної антени раніше, аніж ідентична точка сигналу, що пройшов шлях з відбиттям, чим викликає викривлення у зроблених замірах.

Відповідальність за цю багатопроменевість можуть нести як елементи природного походження (місцевий ландшафт, насадження), так і споруди, створені людиною (капітальні будівлі, загородження, інфраструктурні об'єкти), які стають причиною для відбиття чи згинання траєкторії GNSS-сигналів.

На рисунку 1 наочно демонструється, як природні та антропогенні бар'єри по-різному й у різній мірі впливають на супутникові сигнали, що надходять до досліджуваних еталонних точок.

Завдяки цьому стає можливим співвіднести досягнуті результати визначення розташування з фактичними умовами прийому сигналів, а також надати розсудливе тлумачення розбіжностей у точності, що спостерігаються при застосуванні методів RP та PPP.

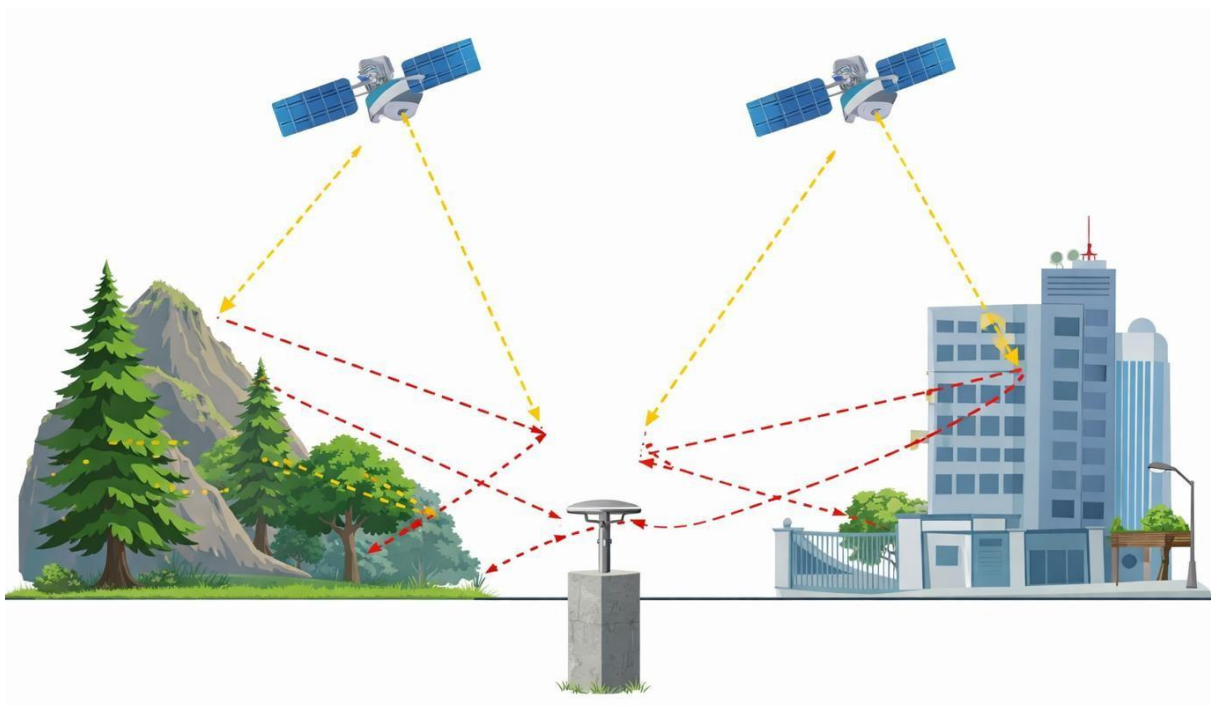


Рисунок 1 Вплив природних та штучних перешкод на супутниковий сигнал.

Окрім власне корисного сигналу, що надходить прямою видимою лінією (Line of Sight, LOS) до приймача GNSS, апаратура також захоплює хвилі, які розповсюджуються непрямыми шляхами.

Тут маються на увазі три такі компоненти: два сигнали, відбиті від різних поверхонь — один від земної ділянки, а інший — від верхівки дерева, яке росте по праву руку від апаратури, і третій, дифракційний компонент, що виникає через огинання хвилею розташованої зліва будівлі.

Наявність цих додаткових складових викликає викривлення у вимірах фази та коду, становлячи одну з ключових причин неточності при GNSS-визначенні координат у ситуаціях, коли пряма видимість на супутники обмежена.

У цьому проєкті розміщення трьох стаціонарних орієнтирів (реперних пунктів, РП) у межах Івано-Франківська було здійснено, балансуючи між впливом природних та створених людиною бар'єрів.

До природних чинників належать, наприклад, зелені насадження та інша рослинність, тоді як антропогенні включають споруди, елементи дорожньої системи та придорожні смуги.

Подібний підхід до вибору точок дає можливість проаналізувати, як різні типи перешкод позначаються на точності GNSS-вимірювань, а також зіставити дані, отримані за допомогою методів RP та PPP.

Схематичне розташування цих РП та опис оточення для кожного з них представлено на рисунку 2.

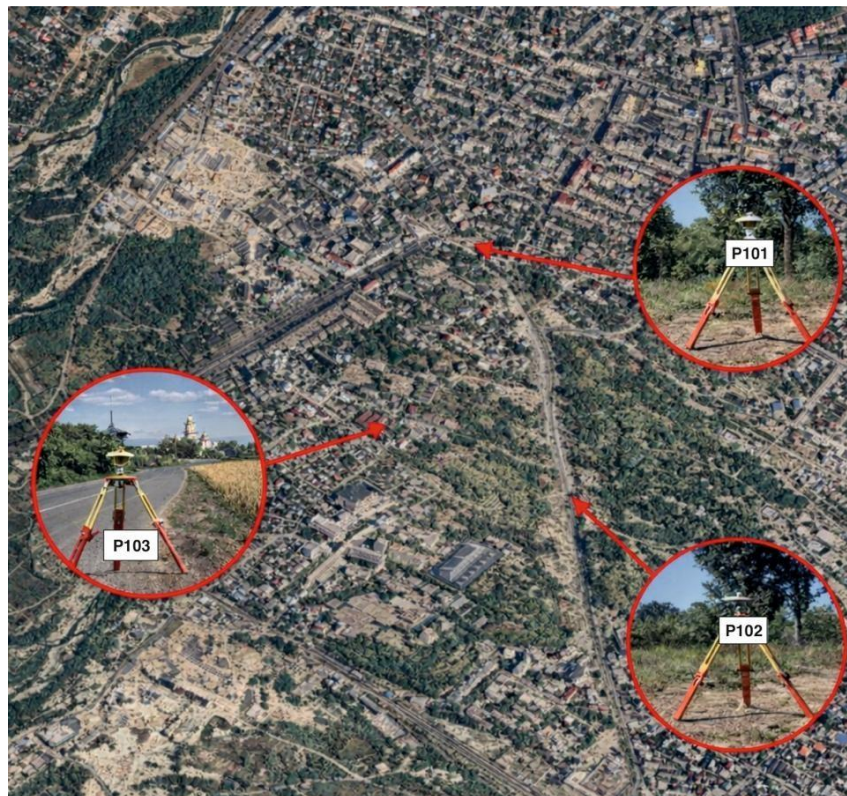


Рисунок 2 Розміщення точок дослідження

Орієнтири (реперні точки) під номерами P101, P102 та P103 розташували, відповідно, там, де спостерігається тісний зв'язок із забудовою, у районі, покритому деревами, і поряд із узбіччям шосе.

Завдяки такому підбору точок стало можливим відтворити умови приймання сигналів GNSS, характерні для територій міст та передмість нашої країни.

Ключові параметри умов, за яких проводилися вимірювання для кожної з реперних позицій, представлені у зведенні Таблиці 3.

Таблиця 3 – Характеристика умов спостережень для реперних пунктів P101–P103

Пункт	Тип оточення	Основні перешкоди	Характер видимості супутників	Ймовірний рівень багатопроменевості	Очікуваний вплив на точність
P101	Міська забудова	Будівлі, тверде покриття	Обмежена у горизонтальному напрямку	Високий	Підвищені похибки кодових і фазових вимірювань
P102	Напіввідкрита місцевість	Дерева, рослинність	Частково обмежена (сезонно)	Середній	Помірний вплив на фазові вимірювання
P103	Придорожня зона	Узбіччя дороги, транспорт	Переважно відкрита	Низький–середній	Незначний вплив, локальні спотворення

Згідно з ілюстрацією, поданою на рисунку 2, радіохвилі, яким доводиться огинати перешкоди, а не рухатися прямою видимістю, призводять до додаткових викривлень у зібраних даних.

Це виражається у виникненні неточностей як у кодових, так і у фазових вимірах.

Незважаючи на те, що методи диференціальної обробки даних GNSS можуть суттєво нівелювати вплив систематичних зсувів, явища багатопроменевості (мультипасу) усунути абсолютно неможливо.

Відтак, ефект багатопроменевості зберігає своє значення як вагомий чинник похибок, котрий обов'язково береться до уваги при проведенні геодезичних робіт, що вимагають високої точності.

З огляду на те, що ефект багатопроменевого розповсюдження хвиль надзвичайно чутливий до місцевих реалій, конфігурації будівель навкруги та розташування орбітальних апаратів, точний підрахунок розмірів спричинених цим похибок є справою надзвичайно заплутаною.

Як наслідок, при дослідженні даних, отриманих у процесі визначення місця, критично важливо скрупульозно підходити як до визначення точки розміщення приймального обладнання, так і до осмислення знайдених просторових координат.

2.2 Особливості даних статичних GNSS-спостережень

У великій кількості наукових праць чимало зусиль докладено для вивчення кореляції між протяжністю референцної лінії, часом вимірювання та можливим ступенем точності при визначенні місцеположення за допомогою GNSS.

Здобутки цих досліджень вказують на те, що період статичних знімів виступає однією з визначальних детермінант стійкості та достовірності отриманих координатних результатів.

Ключовою підставою для здійснення GNSS-вимірювань, що тривають щонайменше сто вісімдесят хвилин, слугує той факт, що при такому часовому інтервалі залежність точності визначення положення від довжини базової основи стає значно менш вираженою.

Щодо вимірювань, що тривають довше трьох годин, слід зазначити, що похибка у визначенні географічного положення на великих відстанях стає порівнянною з тією, що фіксується на коротких відрізках.

Це демонструється тим фактом, що коли час зйомки не сягає трьох годин, зв'язок між якістю результатів та довжиною лінії носить вигляд спадної експоненти, проте при продовженні сеансу вимірювання цей взаємозв'язок втрачає свою статистичну вагомість.

Розгляд кореляції між довжиною лінії, точністю фіксації даних та часом проведення зйомки свідчить: якщо статичні вимірювання тривають понад три години, то покращення показників точності для протяжних ліній стають ледве помітними.

Конкретно, наявні попередні наукові праці вказують, що коли заміри тривають довше двох годин для горизонтального напрямку та більше трьох годин для вертикального, подальше збільшення часу не дає відчутного приросту у точності.

Щодо методу високоточного точкового позиціонування (PPP), то фахівці радять застосовувати статичні сеанси спостереження, тривалістю приблизно три години, якщо пріоритетом є досягнення стабільності та високої надійності точності у міліметровому діапазоні.

Такий хронометраж гарантує, що процес збіжності розв'язку буде достатньо повним, а також дозволить адекватно визначити величини, що стосуються впливу атмосфери та поправок для атомних годинників.

Беручи до уваги висновки попередніх наукових праць стосовно того, як довжина бачення та час фіксації даних впливають на точність визначення положення, у рамках цього дослідження було здійснено мінімум трьохгодинні стаціонарні GNSS-вимірювання у кожній опорній точці протягом шести різних діб.

Кожен зроблений набір вимірювань оцінювався як окремий випадок спостережень, отже це сприяє зміцненню надійності статистичної обробки.

Ключові параметри проведених статичних GNSS-вимірювань зведені та представлені у Таблиці 2.

Як свідчать відомості, зафіксовані у Таблиці 2, збір даних GNSS на кожній із референцних точок проводився шляхом статичних сесій, що тривали мінімум три години. Єдиний виняток трапився із точкою P102 у день GPS-року (DoY) 140: сеанс вимірювань було передчасно закінчено

через виникнення технічних проблем, які мали місце у ході виконання польових робіт.

Таблиця 2 – Параметри статичних GNSS-спостережень

Дата спостережень	День GPS-року (DoY)	Тривалість спостережень	Реперний пункт
15.05.2021	135	3 години	P101, P102, P103
16.05.2021	136	3 години	P101, P102, P103
17.05.2021	137	3 години	P101, P102, P103
20.05.2021	140	3 години	P101, P102, P103
21.05.2021	141	3 години	P101, P102, P103
24.05.2021	144	3 години	P101, P102, P103

Винятково лише GPS-дані застосовувалися у цьому дослідженні для подальшої розробки аналітичних кроків.

Такий підхід гарантував однаковий характер вхідної інформації та дав змогу коректно зіставити результати, отримані після опрацювання.

У процесі збору даних у полі було задано інтервал запису – одну секунду, а мінімальний кут піднесення супутників – 10 градусів.

Ці показники вважаються стандартними при проведенні високоточних статичних вимірювань за допомогою GNSS-систем.

Для акумуляції даних використовувалося двочастотне обладнання Topcon HyperPRO серії GNSS-приймачів.

Ці прилади здатні фіксувати як фазові, так і кодові виміри, що є обов'язковим для застосування методик високоточного позиціонування як відносним, так і точковим методами.

Сирі дані, отримані по завершенні знімальних робіт у полі, були переведені до формату RINEX (Receiver Independent Exchange Format).

Цей формат вважається загальноприйнятим для обміну даними GNSS-спостережень і активно використовується переважною кількістю наукових платформ та інтернет-сервісів для подальшої опрацювання.

Загалом, підсумком проведених польових сесій стало формування вісімнадцяти файлів у форматі RINEX.

Ці файли були накопичені протягом шестиденного періоду знімання, проведеного на трьох опорних точках.

Саме ці матеріали послужили первинною основою для наступного етапу — прорахунку та аналізу отриманих позиційних результатів як за методикою RTK (використовуючи термін RP, хоча RP зазвичай означає Reference Point, але в контексті GNSS-обробки часто мається на увазі RTK або подібні методи) так і за методом точного позиціонування в статиці (PPP).

3. Результати дослідження

3.1 Обробка GPS-даних із використанням програмного забезпечення Bernese GPS версії 5.0

Аби досягти високої точності координат при науковій інтерпретації даних GNSS-вимірювань, здебільшого залучають такі програмні пакети, як "Bernese GNSS Software", "GIPSY/OASIS II" та "GAMIT".

З огляду на те, що "Bernese GPS" версії 5.0 визнаний науково обґрунтованим, часто використовуваним у геодезичних роботах та наданим для використання у навчальних або дослідницьких установах, саме цей софт був обраний у рамках цієї праці для опрацювання GPS-вимірювань.

Для виведення еталонних координат було застосовано метод відносного визначення положення (RP), який базується на інформації, отриманій від міжнародної мережі станцій IGS, що функціонують безперервно.

Референтними величинами стали середньозважені просторові прив'язки трьох опорних точок – P101, P102 та P103, отримані після шестиденного періоду стаціонарних спостережень.

Ці прив'язки згодом зіставлялися з інформацією, яку надали інтернет-сервіси, призначені для подальшої обробки даних GNSS-вимірювань.

Для роботи з GPS-даними у програмному комплексі Bernese було задіяно дві позиції з усієї наявної мережі.

Вибір цих позицій обґрунтовувався їхнім розташуванням на місцевості, рівнем надійності роботи та повнотою зібраної інформації за звітний час.

У ході цієї детальної оцінки використовувалися високоточні орбіти супутників, поправки для бортових хронометрів та відомості про орієнтацію Землі на заданий момент, які подавалися як офіційні продукти

підвищеної точності від Міжнародної служби систем супутникової навігації (IGS).

На початковій стадії обробки проводилося позиціонування в одній точці, де застосовувалася комбінація вимірювань $L3$, нечутлива до іоносферних затримок, що сприяло їх зменшенню.

Цей етап також включав виправлення помилок годинника приймача та первинне визначення географічних координат референсних точок мережі.

Перевірка якості отриманих даних, ідентифікація зсувів цілих циклів та грубих неточностей проводилася шляхом аналізу потрійних різниць; виявлені аномальні значення виключалися з подальшого опрацювання.

Якщо було зафіксовано зсув у цілих циклах фазових вимірювань, проводилася їх корекція, за якою слідували оцінювання та визначення значень початкових фазових неоднозначностей.

З метою усунення невизначеностей було впроваджено метод, відомий як квазііоносферно-вільний (Quasi-Ionosphere-Free, QIF).

Цей метод продемонстрував свою ефективність при роботі зі знімками GPS, зібраними у статичному режимі протягом помірних та значних інтервалів часу.

Для обчислення затримок, зумовлених впливом тропосфери, у кожній із визначених точок використовувалася певна модель.

Водночас, недоліки, пов'язані з тропосферним впливом, нівелювалися шляхом визначення значень параметрів затримки зенітної тропосфери через фіксовані часові інтервали.

За результатами виконання цих обчислень були визначені Декартові координати (X , Y , Z) для трьох опорних точок у референційній системі ITRF2008.

Наявна система Декартових координат була переведена у фрейм локальних топоцентричних координат, що складається з осей: Північ (N), Схід (E) та Висота (U).

Такий підхід до вибору системи суттєво полегшує процес аналізу помилок та дозволяє більш коректно порівнювати здобуті результати визначення місцеположення.

Саме ці локальні координати, доповнені відповідними значеннями стандартних помилок, були прийняті за еталонні, і з ними ми проводили звірку координатних наборів, отриманих за допомогою онлайн-сервісів постобробки GNSS-даних у режимах RTK (RP) та фіксованого/вільного точного позиціонування (PPP).

У Таблиці 3 наведено зведені значення координат опорних пунктів, розраховані після обробки даних у програмному комплексі Bernese GPS, а також оцінки їхніх стандартних відхилень у локальній системі, прив'язаній до системи відліку ITRF2008.

Таблиця 3: Результати розрахунку усереднених координат

Реперний пункт	Північ N (м)	Схід E (м)	Вгору U (м)	SD _n (см)	SD _e (см)	SD _u (см)
P101	2551.329	4587.605	1.289	0.531	0.380	0.624
P102	2466.929	4674.271	0.382	0.244	0.150	0.223
P103	2452.139	4630.607	1.109	0.208	0.139	0.202

3.2 Обробка даних із використанням веб-сервісів постобробки GNSS

Зібрані в ході експериментів в польових умовах масиви даних GNSS, кожен із яких важив приблизно 20 МБ, створювали певні перешкоди для залучення низки сервісів постобробки, доступних через мережу Інтернет.

Через цю обставину деякі сервіси виявилися непридатними для використання в рамках проведеного аналізу.

Додатково варто зазначити, що послуга Trimble CenterPoint RTX не була задіяна, оскільки вона не сумісна з моделлю GNSS-антени, яка використовувалася під час збору вимірювань.

Аби скористатися онлайн-службами для постобробки даних відносного визначення місця розташування (WB RP), особі, що користується сервісом, спершу необхідно ввести певний набір вихідних даних через мережевий інтерфейс.

Серед обов'язкових реквізитів — електронна адреса, на яку надсилатимуться результати, модель GNSS-антени, що була задіяна, а також точне вимірювання висоти цієї антени відносно певного реперного пункту (ARP).

Ці відомості є критично важливими для точного врахування технічних особливостей апаратури приймача та забезпечення коректності розрахунків, що виконуються за допомогою диференціальної моделі визначення координат.

На відміну від послуг RP, веб-сервіси точного позиціонування точок (WB PPP) здатні самі зчитувати переважну більшість потрібних характеристик безпосередньо з файлів стандарту RINEX, що робить їх освоєння простішим для кінцевого користувача.

Окрім тих параметрів, які є обов'язковими, наявна можливість для користувачів, за їхнім бажанням, вказувати додаткові опції конфігурації, як-от активація файлів для корекції океанічних припливних деформацій чи коригування граничного кута підйому супутників, що стандартно встановлюється на рівні 10° у таких сервісах, як GAPS та Magic-PPP.

У широкому сенсі, послідовність дій для залучення послуг WB PPP охоплює три ключові фази: спершу необхідно імпортувати файл формату RINEX, потім визначитися із бажаним режимом провадження обробки (чи то статичний, чи то кінематичний), і, нарешті, вказати контактну електронну скриньку, куди слід надсилати кінцеві дані.

По закінченні самого процесу обробки, клієнт отримує фінальні аркуші зведення, у яких зафіксовано визначені просторові координати точок разом із відповідними показниками стандартних похибок.

Окрім базового набору, окремі модулі послуги додатково генерують деталізовані аналітичні матеріали, що включають графічне відображення злагоди отриманого результату та параметрів, що характеризують його точність.

За умови ідентичних умов підключення до Всесвітньої павутини, час, витрачений різними WB-сервісами на опрацювання даних GNSS, варіювався: SistemSolution вимагав близько шести хвилин, ZAKPOS – трьох, CSRS-PPP – чотирьох, Magic-PPP – однієї хвилини, а GAPS – приблизно півхвилини (50 секунд).

Переважна більшість сервісів у фінальних звітних документах вказувала, скільки часу зайняла обробка, але GAPS був винятком, не надаючи такої деталі.

В рамках проведеного аналізу усі вісімнадцять файлів формату RINEX, які були зафіксовані під час виїзних спостережень, були пропущені через п'ять доступних веб-сервісів для постобробки, що в результаті дало нам дев'яносто різних файлів із отриманими даними.

Як еталонну точку, використали усереднені положення місцевих реперів P101, P102 та P103, визначені після шестиденного опрацювання у програмі Bernese GPS версії 5.0.

Для наочності отриманих результатів, середні координати, а також щоденні розв'язки, надані інтернет-службами постобробки, були представлені графічно у прив'язці до локальної системи відліку.

Це охоплює як горизонтальні напрямки – Північний (N) та Східний (E), так і вертикальний вимір – Висота (U).

Відповідні діаграми наведено на Рисунку 3, які демонструють відмінності між результатами, отриманими від мережових сервісів RP та PPP, і еталонними показниками, вирахованими за допомогою Bernese.

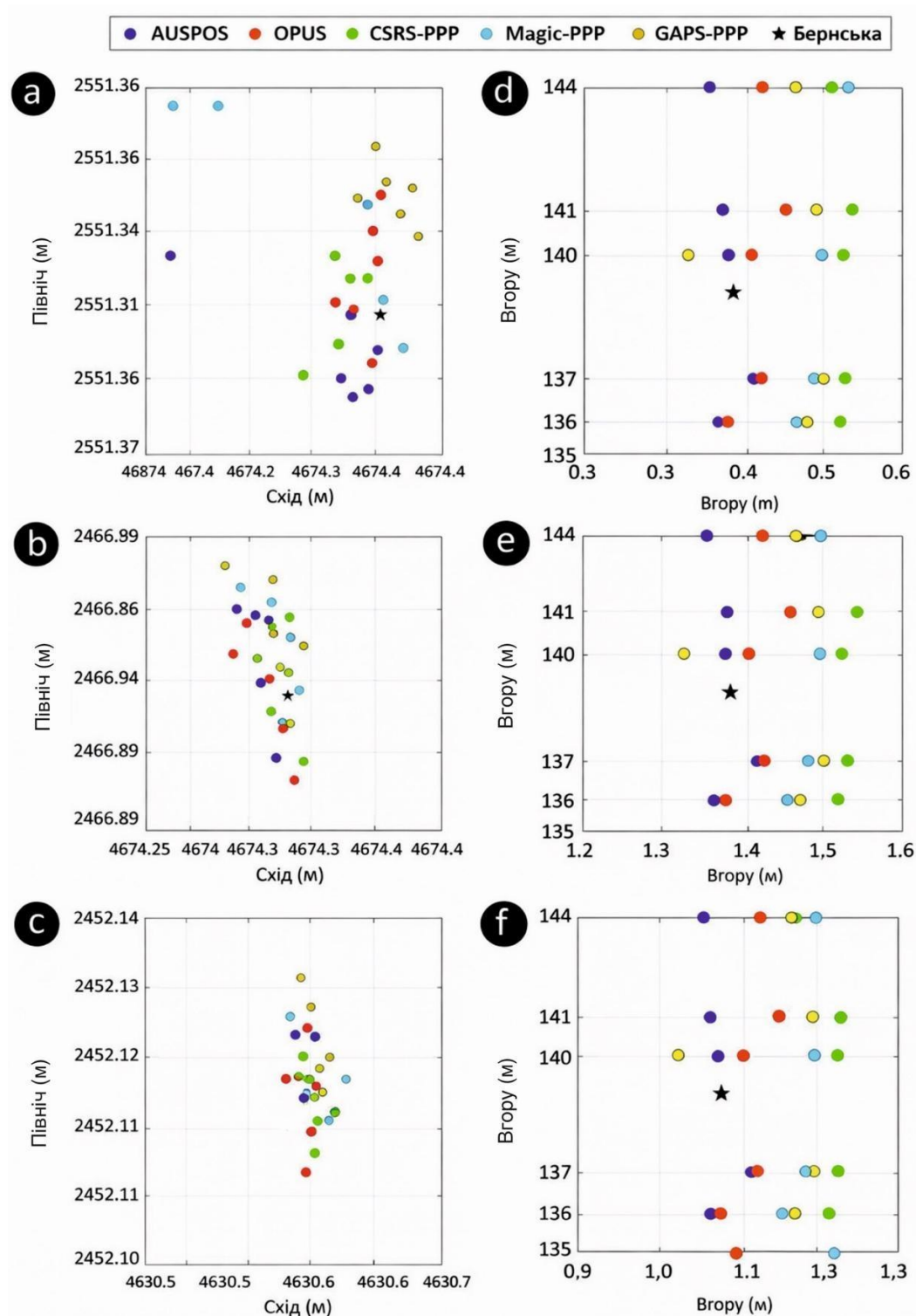


Рисунок 5 Порівняння результатів GNSS постобробки

Наведені тут графічні зображення ілюструють величини вертикальних компонентів координат та їхні шестидобові згладжені (усереднені) значення.

Ці показники були виведені за допомогою веб-сервісів постобробки GNSS даних і представлені як залежності від днів року за GPS-календарем (DoY: 135, 136, 137, 140, 141 та 144) для контрольних точок P101, P102 та P103 відповідно.

Усі здобуті результати прив'язані до координатної системи УСК 2000.

3.3 Порівняння програмного забезпечення Bernese GPS та веб-сервісів постобробки GNSS

Задля ґрунтового аналізу, наскільки коректно виконано позиціонування, ми зіставили координати, здобуті завдяки веб-сервісам постобробки GNSS, із референтними (еталонними) координатами, розрахованими засобами програми Bernese GPS версії 5.0.

Зіставлення проводилося шляхом визначення розбіжностей у координатах, використовуючи такі розрахункові формули:

$$\Delta N = N_{\text{Bernese}} - N_{\text{WB}}, \quad \Delta E = E_{\text{Bernese}} - E_{\text{WB}}, \quad \Delta U = U_{\text{Bernese}} - U_{\text{WB}}$$

де: $N_{\text{WB}}, E_{\text{WB}}, U_{\text{WB}}$ — координати, видобуті із сервісів постобробки даних GNSS, доступних через мережу.

Візуалізація розбіжностей у координатах (ΔN , ΔE та ΔU) за шість діб збору даних (GPS-дні: 135, 136, 137, 140, 141 і 144) для опорних точок P101, P102 та P103 відображено на рисунках 6, 7 і 8 відповідно.

Завдяки цим діаграмам стає можливим визначити стійкість, рівень точності, а також наявність систематичних зсувів у результатах, отриманих з веб-сервісів, порівняно з еталонною обробкою, виконаною у програмі Bernese GPS.

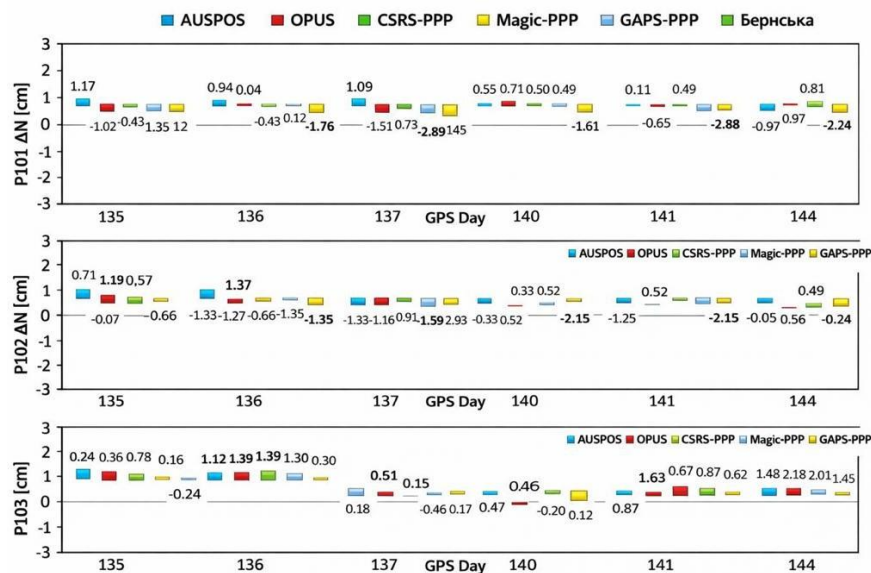


Рисунок 6 Різниця координат північної (ΔN) складової

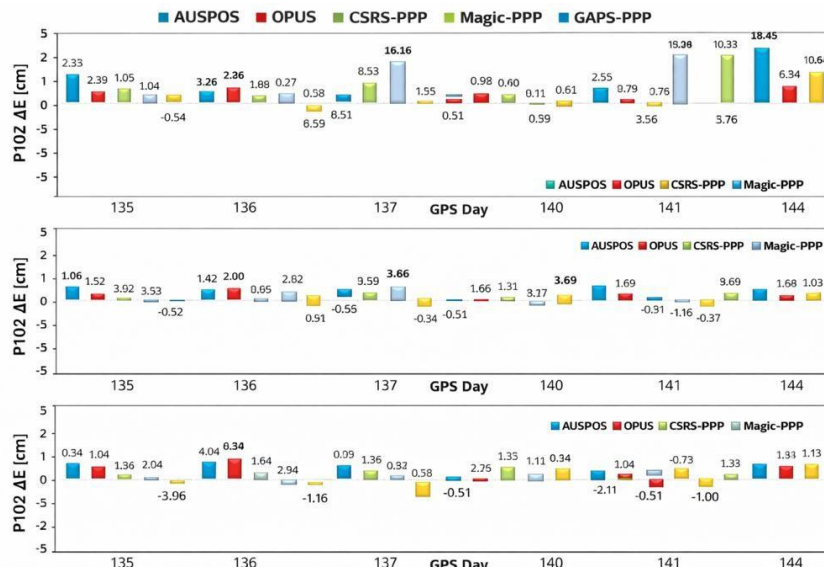


Рисунок 7 Різниця координат східної (ΔE) складової

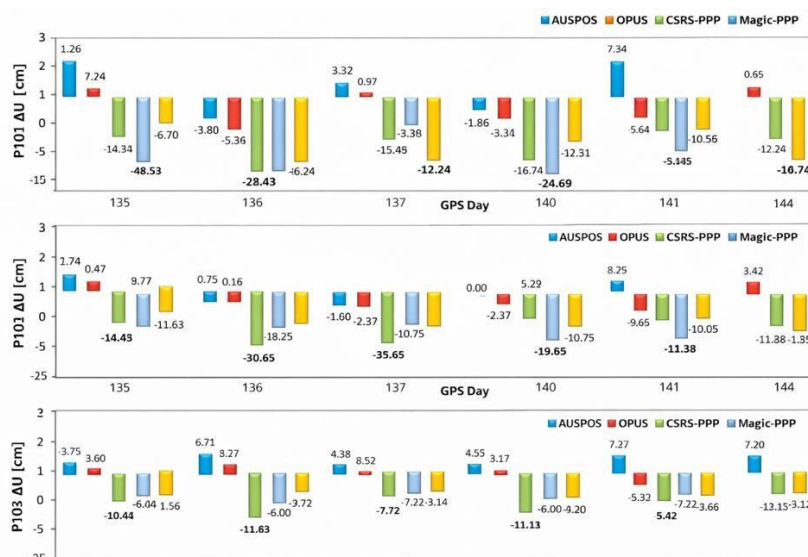


Рисунок 8 Різниця координат компонента висоти U_p (ΔU)

Згідно з наданими графіками, для переважної більшості інтернет-ресурсів, призначених для постобробки даних GNSS, горизонтальні складові розбіжностей координат (позначені як ΔN та ΔE) демонструють точність у межах сантиметрів.

Винятки з цього правила зафіксовані для горизонтальної зміщення ΔE для точки P101, отриманого через сервіс Magic-PPP у дні GPS відлік 137 та 138, а також для показників сервісу AUSPOS на 144-й день, коли зафіксовані значніші розбіжності.

Водночас, якщо розглядати аналіз вертикальної складової координат (позначення ΔU), стає очевидним, що для контрольних точок P101 та P102, дані, оброблені веб-сервісами PPP, зазвичай демонструють точність у межах дециметрів.

Це узгоджується з загальновідомим фактом підвищеної вразливості вертикального компонента GNSS-визначення положення до неточностей у моделюванні тропосфери, ефектів багатопроменевості та конфігурації супутникового угруповання, особливо якщо не застосовуються поправки диференціального типу.

3.4 Аналіз результатів

Для кількісної оцінки ступінь точності та однорідності отриманих координатних даних, було проведено аналіз розбіжностей за основними напрямками: меридіональному (позначено як ΔN), східної довготи (ΔE) та висотному (ΔU) для визначених опорних точок P101, P102 та P103.

У Таблиці 4 наведено консолідовану картину описової статистики, яка виникла внаслідок застосування онлайн-сервісів для подальшої обробки GNSS, у порівнянні з еталонним розрахунком, реалізованим програмним забезпеченням Bernese GPS версії 5.0.

Ця четверта таблиця містить найважливіші статистичні показники цих розбіжностей координат, а саме: середнє значення, мінімальні та максимальні фіксовані відхилення, а також стандартне (середньоквадратичне) відхилення.

Усі ці параметри подано у сантиметрах, що забезпечує об'єктивну основу для порівняння точності, досягнутої методами RP та PPP.

Ознайомитися з узагальненою таблицею описової статистики, що відображає розходження у координатах, отриманих через GNSS інтернет-сервіси після обробки, відносно результатів, отриманих за допомогою Bernese GPS v5.0, можна у Таблиці 4.

Таблиця 4 – Описова статистична зведена інформація про різниці координат (Δ), см

Статистичний показник	P101			P102			P103		
	ΔN	ΔE	ΔU	ΔN	ΔE	ΔU	ΔN	ΔE	ΔU
Мінімум	-2.89	-2.31	-24.53	-2.15	-1.71	-14.45	-1.12	-0.73	-11.83
Максимум	1.17	18.45	8.26	1.19	3.74	5.29	3.65	11.14	7.2
Середнє	-0.56	3.26	-8.51	-0.54	0.99	-6.63	0.68	1.5	-2.96
Стандартне відхилення	1.14	4.8	8.51	0.85	1.46	6.2	1.02	2.03	5.85

Аналізуючи інформацію, представлену у Таблиці 4, можна дійти такого висновку: коливання у вертикальному вимірі координат (позначені як ΔU) здебільшого містяться в межах дециметрового діапазону.

Це свідчить про те, що вони мають меншу точність, якщо порівнювати їх із горизонтальними складовими.

З іншого боку, результати, зафіксовані для компонентів ΔN , демонструють найменші значення стандартного відхилення (SD).

Ба більше, компонент ΔE також вирізняється достатньо високою стабільністю та демонструє прийнятні показники стандартного відхилення для всіх трьох використаних реперних точок.

Зокрема, зафіксовано, що стандартні розбіжності при встановленні горизонтального положення для пунктів P102 та P103 мають подібні показники, які загалом є меншими, ніж ті, що спостерігалися для пункту P101.

Це вказує на кращі обставини збору вихідних даних і краще приймання GNSS-сигналів у цих конкретних локаціях.

Погіршення точності відомостей, здобутих для станції P101, пояснюється складнішими умовами, в яких здійснювалися вимірювання.

А саме, значного впливу набули техногенні бар'єри, які негативно впливали на огляд сузір'я супутників, провокуючи виникнення хвиль-відбиттів.

Як наслідок, розраховані географічні координати, отримані після фінальної обробки GNSS-інформації через мережеві сервіси, мають явну меншу надійність, якщо зіставити їх із даними для точок P102 та P103, де перешкоди для огляду системи супутників проявлялися лише частково.

У Таблиці 5 зведено стандартні відхилення для складових ΔN , ΔE та ΔU , отриманих завдяки застосуванню веб-сервісів для постобробки даних GNSS стосовно точок P101, P102 та P103.

Крім того, ці розрахунки візуалізовано на Рисунку 9, що дає змогу зробити чітке порівняння щодо рівня точності, досягнутого для кожної з точок та окремих координатних осей.

Таблиця 5 – Стандартні відхилення (SD) різниць координат ΔN , ΔE та ΔU для веб-сервісів постобробки GNSS, см

Веб-сервіси GNSS	P101			P102			P103		
	ΔN	ΔE	ΔU	ΔN	ΔE	ΔU	ΔN	ΔE	ΔU
AUSPOS	0.75	6.78	5.18	0.83	0.7	2.13	0.86	0.51	1.39
OPUS	0.8	1.12	3.34	0.75	1.48	2.41	1.44	4.29	3.29
CSRS-PPP	0.64	1.7	3.92	0.81	1.11	0.96	0.67	0.84	2.29
Magic-PPP	1.39	7.31	7.55	0.81	1.98	1.92	0.95	0.96	0.6
GAPS	0.43	2.7	4.33	0.89	1.79	6.3	0.93	1.09	1.82

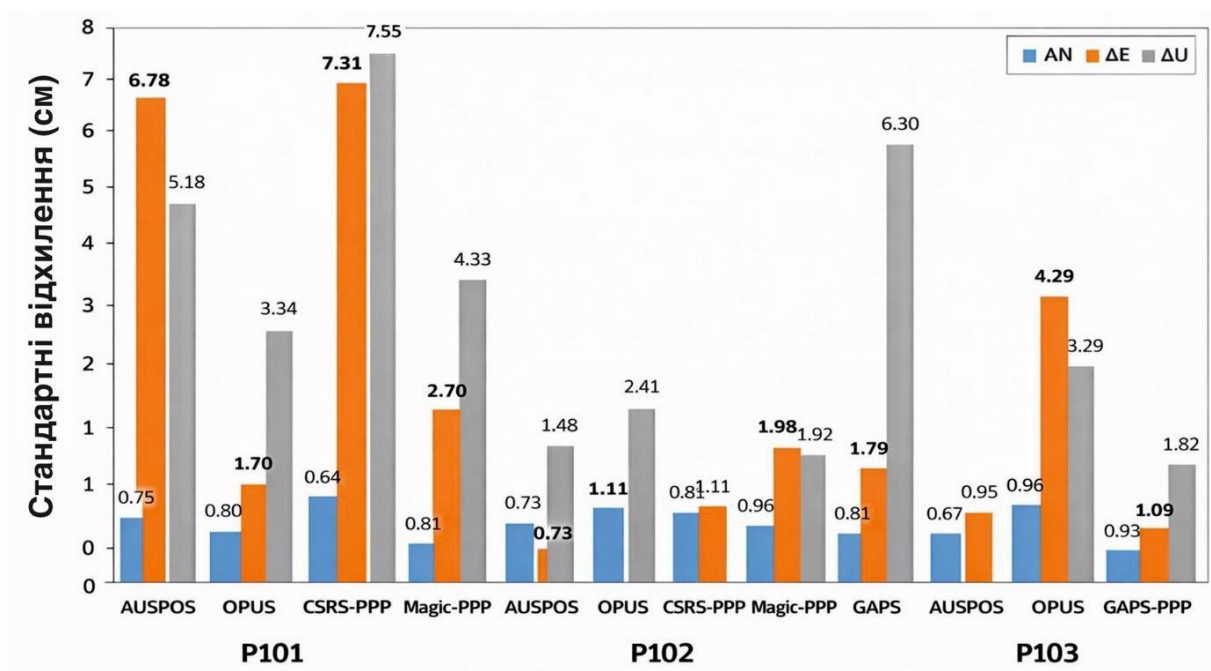


Рисунок 9: Стандартні відхилення компонентів ΔN , ΔE та ΔU для веб-сервісів

Розглядаючи відомості, представлені у Таблиці 5 та на Ілюстрації 9, можна дійти висновку, що найменшу розбіжність (стандартне відхилення) серед GNSS постобробних веб-сервісів виявляють різні системи залежно від вибраної опорної точки та конкретної координатної осі.

А саме, стосовно точки P101, показники найвищої стабільності демонструють OPUS для складових ΔE та ΔU , тоді як для осі ΔN найкращою виявляється GAPS.

Щодо позиції P102, то найнижчі величини стандартних відхилень зафіксовано: AUSPOS для ΔE , OPUS для ΔN і CSRS-PPP для ΔU .

При цьому, для пункту P103 найбільш узгоджені результати пропонують AUSPOS у відношенні до ΔN та ΔE , а також Magic-PPP для компонента ΔU .

Як ми вже раніше відзначали, збіжність координатних даних, які надаються сервісами AUSPOS та OPUS, із еталонними значеннями, обчисленими за допомогою системи Bernese GPS, підтверджує, що просторове позиціонування, визначене відносним методом (RP), все ще має вирішальне значення для досягнення високоточних результатів визначення точок.

Зосередивши увагу на показниках стандартних відхилень, які представлені у Таблиці 5 та на рисунку 9, можна побачити, що для сервісів, які використовують метод точного точкового позиціонування (PPP), рівень їхньої точності є функцією як певної складової координат, так і зовнішніх умов, за яких здійснювалися вимірювання.

Щодо позиції P101, то серед провайдерів послуг PPP, GAPS продемонстрував найвищі показники у частині ΔN , тоді як CSRS-PPP виявився лідером у відношенні до ΔE та ΔU .

Для точки P102, послуга CSRS-PPP характеризується найменшою дисперсією у складових ΔE та ΔU , тоді як у напрямку ΔN сервіси CSRS-PPP та Magic-PPP демонструють майже ідентичні рівні якості.

Стосовно P103, найкращі результати серед програмних рішень PPP були досягнуті завдяки CSRS-PPP для компонентів ΔN та ΔE , а також Magic-PPP для складової ΔU .

Висновки

Полеві вимірювання з використанням супутникових навігаційних систем (GNSS) проводилися у межах конкретного міського простору Івано-Франківська, що вирізняється густою забудовою, наявністю значної кількості зелених масивів та розвиненою транспортною мережею.

Подібна забудова та оточення є звичним явищем для численних населених пунктів на території України і формують складні умови для збору супутникових даних, зокрема через явища багатопроменевості, перекриття видимості неба та мінливу конфігурацію супутників.

Завдяки цьому з'явилася можливість неупереджено проаналізувати продуктивність технологій відносного визначення місцеположення (RP) та високоточного точкового визначення (PPP), впроваджених у функціонал веб-сервісів постобробки WB GNSS, що стосується їх реального застосування в Україні та подальшого перетворення отриманих результатів у межах національної системи координат УСК-2000.

Застосування усталених технік для отримання високоточних координат GNSS, які впроваджено у програмні пакети для досліджень та комерційного використання (наприклад, Bernese GPS), дає змогу досягти значної точності, проте це вимагає від оператора глибоких знань, а також значних коштів на придбання ліцензій.

На противагу цьому, безкоштовні веб-ресурси для постобробки даних GNSS, що оперують принципами RTK (Real-Time Kinematic) та PPP (Precise Point Positioning), постають зручним рішенням для численних користувачів в межах України, серед яких інженери-геодезисти, фахівці із землевлаштування, а також спеціалісти, залучені до містобудівних процесів та ведення кадастру.

Аналіз результатів, отриманих після тригодинного стаціонарного знімання GNSS на трьох референцних пунктах, що характеризувалися

різною видимістю супутникових систем, демонструє, що розраховані за допомогою веб-сервісів RP та PPP визначення координат збігаються із заданими еталонними значеннями.

Ці еталонні позиційні дані були спершу отримані за допомогою програмного комплексу Bernese GPS версії 5.0 у системі ITRF2008, а потім переведені у вітчизняну систему координат УСК-2000.

З огляду на це, підтверджено перспективність використання зазначених веб-сервісів як допоміжного інструменту для фазової постобробки GNSS-даних у межах національної системи координат України.

Найбільшу сталість та вірогідність здобутих даних показали сервіси AUSPOS й OPUS, що ґрунтуються на засадах відносного визначення місця розташування.

Здобуте свідчить: якщо час вимірювань достатній (від трьох годин і більше), то метод RP продовжує бути найнадійнішим інструментом для побудови й ущільнення геодезичних сіток, зокрема для потреб великомасштабного картографування та землевпорядкування у рамках системи УСК-2000.

Аналіз співвідношення між широтними (N) та східними (E) компонентами координат із поздовжніми (U) складовими виявив, що для всіх проаналізованих точок горизонтальне визначення місцеположення було більш точним, аніж вертикальне.

Це узгоджується з усталеними характеристиками, притаманними методам GNSS.

Слід відзначити, що вертикальні складові, які були розраховані за допомогою сервісів PPP, у низці ситуацій демонстрували точність у межах дециметрів, що вимагає обачного застосування цих даних у проєктах з інженерного забезпечення висотних робіт.

Дослідження умов розміщення опорних точок виявило значний вплив оточення на фінальну точність визначення.

Так, реперна точка P101, яка опинилася поруч із забудовою, стикнулася з відчутними труднощами у видимості супутників, демонструючи найгірші показники.

Точка P102, яку закріпили у лісовому масиві, також потерпала від часткового затемнення, натомість пункт P103, розміщений уздовж автотраси з більш широким оглядом неба, надав координати, найбільш близькі до еталонних.

Ця тенденція є доволі типовою для території України й мусить бути взята до уваги при вирішенні про місця розташування пунктів GNSS-мереж.

Беручи до уваги наявні висновки та імперативи чинного законодавства України стосовно формування геодезичних мереж та проведення масштабних топографо-геодезичних завдань, доречно констатувати, що інтернет-сервіси для фінальної обробки GNSS-даних, які оперують принципом RP (Real-Time Kinematic чи подібна інтерпретація), здатні забезпечити розбудову та актуалізацію опорних точок сухопутного геодезичного забезпечення, що відповідають необхідним класам точності у площині УСК-2000.

Водночас, технологія PPP (Precise Point Positioning) постає як значуща сфера з високим потенціалом зростання, що може бути дієво імplementована для первинного визначення координат, систем постійного контролю та досліджень наукового спрямування.

Зважаючи на експансію мереж стаціонарних референтних станцій на території України та їхнє злиття з глобальними GNSS-системами (IGS), прогнозується, що найближчим часом онлайн-сервіси, котрі функціонують на базі техніки PPP, продемонструють покращені показники точності.

Це зробить їх значно більш практичними для застосування у національній системі координат УСК-2000.

Список використаної літератури

1. Бакалаврська робота. Методичні вказівки. За ред. проф. Полянської А. С., доц. Станьковської І.М., доц. Вербовської Л. С. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2020. 42 с.
2. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання / Нац. Стандарт України. Вид. офіц. [Уведено вперше ; чинний від 2016-07-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 17 с.
3. Лазарева О. В. Вимоги до виконання кваліфікаційних робіт для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня за спеціальністю 193 «Гедезія та землеустрій» галузі знань 19 «Архітектура та будівництво» : методичні вказівки / О. В. Лазарева, С. М. Смирнова. Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2021. 28 с. (Методична серія ; вип. 383).
4. Черняга П. Г., Перій С. С., Кучер О. В. Використання GNSS-технологій у геодезичному забезпеченні інженерних робіт // *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*. – 2021. – № 1(41). – С. 45–52.
5. Теуніссен П., Монтенбрюк О. Довідник Springer з глобальних навігаційних супутникових систем. – Cham: Springer, 2017. – 1377 с.
6. Каплан Е., Хегарті К. Розуміння GPS/GNSS: принципи та застосування. – 3-тє вид. – Бостон: Artech House, 2017. – 702 с.
7. Хофманн-Велленхоф Б., Ліхтенеггер Х., Уолл Е. GNSS – Глобальні навігаційні супутникові системи: GPS, ГЛОНАСС, Galileo та інші. – Відень: Springer, 2008. – 516 с.
8. Ель-Раббані А. Вступ до GPS: Глобальна система позиціонування. – 2-ге вид. – Бостон: Artech House, 2006. – 192 с.

9. Місра П., Енге П. Глобальна система позиціонування: сигнали, вимірювання та продуктивність. – Лінкольн: Ganga-Jamuna Press, 2011. – 569 с.
10. Такасу Т., Ясуда А. Розробка недорогого приймача RTK-GPS з використанням програмного пакету з відкритим вихідним кодом RTKLIB // Міжнародний симпозіум з GPS/GNSS. – 2009. – С. 1–6.
11. Коуба Дж., Еру П. Точне позиціонування точок з використанням орбітальних та годинникових продуктів IGS // GPS Solutions. – 2001. – Том 5(2). – С. 12–28.
12. Гао Ю., Шень Х. Новий метод точного позиціонування точок на основі фази несучої // Навігація. – 2002. – Том 49(2). – С. 109–116.
13. Біснат С., Гао Ю. Сучасний стан точного позиціонування точок та майбутні перспективи та обмеження // Спостереження за нашою Землею, що змінюється. – 2009. – С. 615–623.
14. Цай К., Гао Ю. Точне позиціонування з використанням комбінованих спостережень GPS та GLONASS // Журнал глобальних систем позиціонування. – 2007. – Т. 6(1). – С. 13–22.

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи:

**« Оцінка точності веб-сервісів пост-обробки GNSS-даних для
геодезичного позиціонування »**

Обсяг пояснювальної записки: _____аркуша.

_____рік
(дата)

(підпис студента)