

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННЯ ТА ТУРИЗМУ
КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ І ГЕОІНФОРМАТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

рівня вищої освіти «Магістр»

на тему: **„МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОЦІНКИ ТОЧНОСТІ
GPS СПОСТЕРЕЖЕНЬ”**

Виконав: студент групи ЗВ-61
напряму підготовки (спеціальності)
193 «Геодезія та землеустрій»

Литвин О. С.

Керівник: к.е.н, доцент

Рижок З. Р.

Львів 2021

УДК 519.87

Методичні засади визначення та оцінки точності GPS спостережень.
Литвин О.С. Кваліфікаційна робота. Кафедра геодезії і геоінформатики. Львів,
Львівський національний аграрний університет, 2021 р.

57 с. текстової частини, 14 таблиць, 10 рисунків, 27 джерел
бібліографічного списку.

У дипломній роботі досліджено теоретичні засади виконання GPS спостережень на основі класифікації методів визначення координат, класифікації їх похибок, а також самої структури системи GPS спостережень, визначено методичні засади визначення координат пунктів GPS спостережень та представлено результати їх розрахунку, а також проведено оцінку точності GPS вимірів.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОНАННЯ GPS СПОСТЕРЕЖЕНЬ	8
1.1. Класифікація методів визначення координат GPS спостережень	8
1.2. Класифікація похибок GPS спостережень	14
1.3. Структура системи GPS спостережень	20
2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПУНКТИВ GPS–СПОСТЕРЕЖЕНЬ	28
2.1. Методичні основи абсолютного методу визначення координат пункту GPS спостережень	28
2.2. Методика розрахунку положення ШСЗ в диференційному режимі	30
2.3. Алгоритм побудови та оцінки точності математичної моделі розрахунку координат пункту GPS приймача	35
3. РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПУНКТИВ GPS–СПОСТЕРЕЖЕНЬ	40
3.1. Розрахунок координат пунктів GPS–спостережень класичним методом	40
3.2. Розрахунок координат пунктів GPS–спостережень методом побудови математичної моделі	42
3.3 Оцінка точності розрахунку координат пункту GPS спостережень	44
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	47
5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	50
ВИСНОВКИ	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55

ВСТУП

З метою розв'язання інженерних та геодезичних задач, для створення, реконструкції державних та геодезичних мереж, мереж, що використовують в геодинаміці, наукових дослідженнях інших галузей, часто застосовують технології, які є пов'язаними з використанням GPS технологій.

За останні роки ми спостерігаємо істотні зміни у глобальній навігаційній супутниковій системі щодо збільшення кількості функціонуючих супутників, за рахунок підвищення стабільності частоти генераторів супутників, використовуючи нові алгоритми для вирішення багатьох значущих фазових вимірювань, що призвело до зростання кількості наземних станцій стежень. Це дозволило збільшити кількість інформації для визначення координат пунктів, підвищити точність для часової синхронізації, точність прогнозування ефемериди супутників.

Актуальність застосування GPS технологій для вирішення широкого спектру наукових задач, що є пов'язаними з вивченням Землі полягають у:

- побудові та підтримці земної системи відліку, що задається координатами, швидкостями руху супутника до пунктів спостережень;
- вивчення не рівномірності обертання, руху полюсів Землі;
- дослідження деформації земної поверхні;
- дослідження земної атмосфери, іоносфери.

За цих умов побудова GPS мереж вимагає врахування специфіки GPS технологій, до яких відносять залежність точності визначення компоненту векторів від їхньої довжини, а також тривалості GPS вимірювань.

Згідно до методики оптимального проектування вимірів у GPS мережах доцільно застосовувати експериментальні дослідження щодо розрахунку точності з визначення координат GPS пунктів спостережень у залежності від їх довжини, тривалості вимірів GPS приймачами.

У дипломній роботі обчислено оцінку точності математичної моделі множинної апроксимації, а також системи диференціальних рівнянь за способом

найменших квадратів з метою визначення коефіцієнтів моделі. Відповідна методика, розроблена для оцінки точності зрівноваженої функції при побудові математичної моделі даних GPS спостережень.

На основі цієї методики можливим є виконати оцінку точності зрівноваженої функції на багато факторної моделі з будь-яким числом досліджуваних факторів, що підтверджують практичні розрахунки за допомогою комп'ютерного аналізу, створеного в MS EXCEL. У роботі досліджено проблему розрахунку тривалості GPS вимірів на базі різної довжини псевдо відстаней із заданою точністю.

Об'єктом дослідження є вектори та відстані, створені із застосуванням супутникових спостережень.

Предметом дослідження є методика супутникових спостережень дво- і одно частотними приймачами.

Методи дослідження полягають у опрацюванні результатів супутникових спостережень, використовуючи основи теорії похибок вимірювань, математичного опрацювання геодезичних вимірів, теорії математичної статистики, точні методи апроксимації.

Вирішенням проблеми залежності точності визначення координат пунктів, параметрів векторів від тривалості спостережень, віддалі між одночасно працюючими GPS приймачами займалися багато науковців, які з метою встановлення цієї залежності застосовували планування GPS спостережень. Ними доведено, що з метою досягнення необхідної точності супутникових спостережень потрібно дотримуватися встановлених значень для параметрів, що характеризує найменша кількість супутників, дискретність супутникових сигналів, мінімальна висота супутників над горизонтом, параметри їх геометричної конфігурації (GDOP та PDOP).

1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ВИКОНАННЯ GPS СПОСТЕРЕЖЕНЬ

1.1. Класифікація методів визначення координат GPS спостережень

Загальний принцип щодо визначення координат точки за допомогою GPS спостережень зображено на рис. 1.1. Для цього потрібно виміряти віддалі від неменше, ніж 4 супутників до місця положення точки P в даний момент часу.

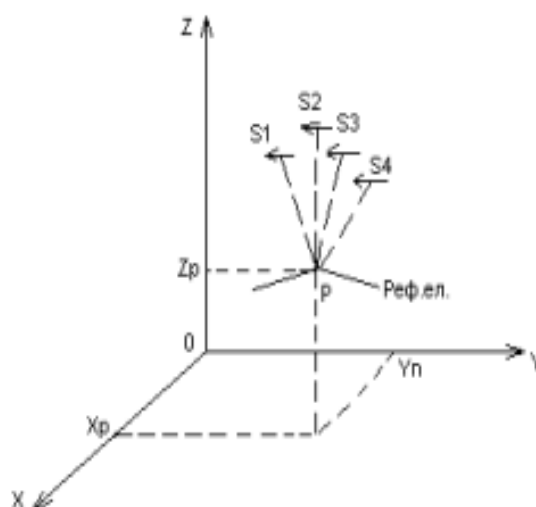


Рисунок 1.1. – Визначення координати точки при виконанні GPS спостережень.

При подачі радіо сигналу із штучного супутника Землі (ШСЗ) до радіо приймача час фіксують як на супутнику, так і в приймачі на земній референційній поверхні. Якщо годинники будуть синхронізованими, то для визначення координати методом GPS спостережень достатньо буде лише чотири супутники [6].

Також при проведенні GPS спостережень не обхідно вираховувати четверту координату – часову. У зв'язку з цим, розв'язок системи з 4-ма невідомими буде потребувати побудови системи чотирьох рівнянь, а, отже, і інформації з чотирьох супутників.

Унаслідок розв'язку такої системи з чотирма не відомими необхідно виміряти мінімум чотири псевдо віддалі до чотирьох ШСЗ. Зазвичай на практиці

ми маємо більшу кількість векторів, що пов'язано з більшою кількістю ШСЗ, наприклад, 5, 6 і більше супутників з метою одержання більш точного результату за менший проміжок часу [5].

Тривалість GPS спостережень відіграє важливу роль для збільшення їх точності. Це пов'язано з кількістю розв'язаних рівнянь протягом часу виконання GPS спостережень, що дає можливість отримати середнє значення, а також зменшити величину похибки цих вимірювань. Сучасні технічні та математичні методи, прийоми дозволяють отримати бажаний результат за більш короткий проміжок часу. Це обумовлює появу великої кількості різних методів та способів виконання GPS спостережень, які поділяють за різними критеріями.

Так, за призначенням супутникові спостереження поділяють на:

- навігаційні, що використовують на кораблях, літаках, автомобілях, інших видах транспорту чи рухомих об'єктах. Їх не відрізняють один від одного за великою точністю, але вони безперервно визначають положення транспорту;

- геодезичні – використовують для визначення координат для фіксованої точки або лінії, зокрема пунктів опорних мереж, меж земельної ділянки, інженерних споруд на місцевості з не обхідною точністю [21].

Геодезичні вимірювання за своїм способом реалізації поділяють на абсолютні та відносні або диференціальні. В абсолютному методі GPS приймач визначатиме координати і час, отримуючи при цьому сигнали із ШСЗ, не залежно від інших GPS приймачів. При застосуванні диференціальних методів використовують не менше двох приймачів, які вимірюють псевдо віддалі. При цьому один з GPS приймачів знаходиться на точці з уже відомими координатами. Його називають «базовим», а таку точку відповідно «базовою». Другий приймач знаходиться на точці, координати якої не обхідно визначити. Цей приймач називають «роверним», а його точку «роверною» чи точкою знімання.

До абсолютного методу GPS спостережень відносять статику, за умови використання одного приймача. До диференціальних або відносних GPS знімань з пост обробкою даних в режимі реального часу (RTK) відносять режим статики, коли використовують два і більше GPS приймачів одночасно. Однак, при цьому

не має яскраво вираженої бази. Застосовують також методи швидкої статички, кінематики, стій-іди, псевдо статички та псевдо кінематики, що відображено на рис. 1.2.

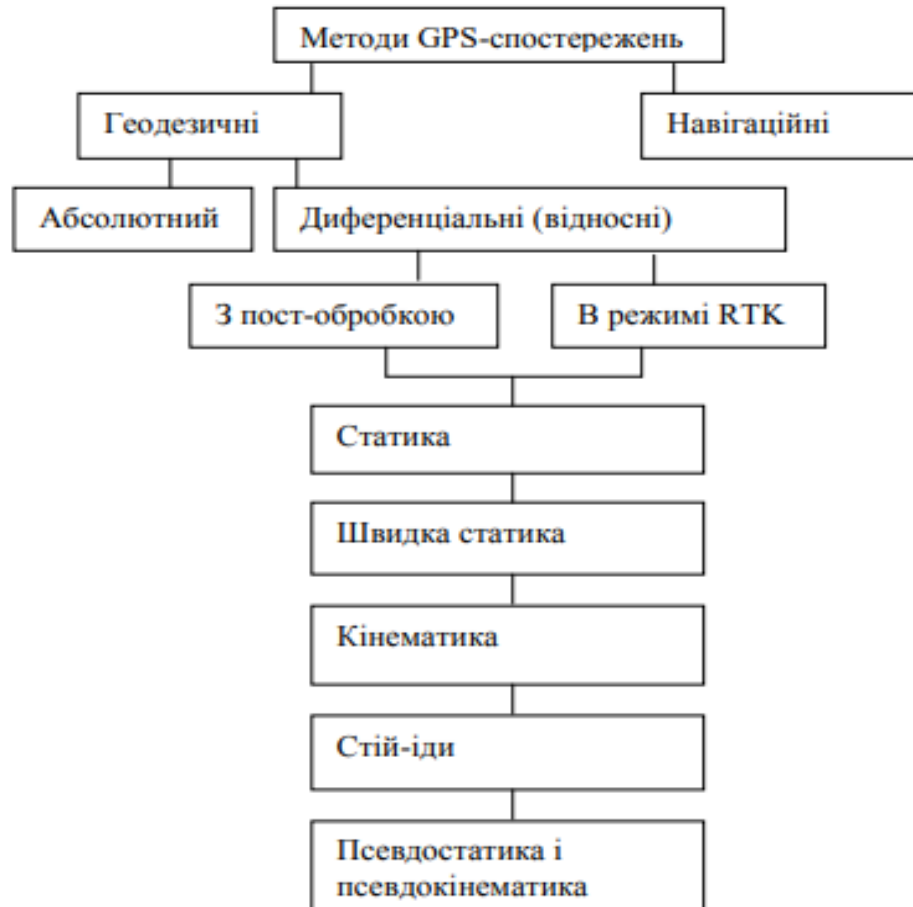


Рисунок 1.1. – Методи виконання GPS спостережень.

Параметри виконання методики супутникових спостережень передбачають враховувати:

- тип приймача, яким виконують спостереження;
- тривалість сеансів GPS спостережень;
- мінімальну кількість супутників, сигнали яких одночасно приймають GPS приймачі;
- максимально допустиме значення GDOP;
- мінімальна висота ШСЗ над горизонтом;
- інтервал реєстрації самих супутникових сигналів [11].

Є кілька методів виконання GPS спостережень. Вибір кожного з них залежить від наступних факторів, серед яких виділяють:

- рівень точності;
- технічні можливості приймача, наявність відповідного програмного забезпечення;
- характер навколишньої місцевості, метео умови;
- наявність обмежень на переїзд між пунктами, що спостерігаються, а також відстані між ними;
- конфігурація супутникової системи, кількість спостережуваних супутників, наявність засобів зв'язку [12].

Для вирішення різних завдань за допомогою GPS спостережень для:

- визначення точних координат окремих точок,
- послідовних вимірювань з розташування безлічі точок, безперервних визначень координат в процесі руху автомобіля,
- в рамках DGPS режиму.

Усі ці методи відрізняються між собою за технологією виконання робіт, одержуваною точністю щодо обчислення вектора GPS спостережень.

Статичний метод передбачає, що приймачі не переміщуються протягом всього інтервалу роботи. Базовий приймач і GPS приймач з не відомими координатами буде одночасно виконувати спостереження, записувати дані протягом 15 хвилин чи 3 годин, що зумовлено не обхідністю визначення не однозначності фази на початку сесії GPS вимірювань. Цьому сприяє також помітна зміна у часі конфігурації супутникової системи.

У цьому режимі знімання одно частотні приймачі використовують для вимірювання баз довжиною до 10-15 км, а дво частотні - для довжин ліній, що є довгими, ніж 15 км. Тут, переваги дво частотних приймачів полягають в можливості моделювання ефекту від впливу іоносфери, меншої тривалості спостережень для досягнення поставленої задачі із заданою точністю. Після завершення сеансів GPS спостережень дані, що отримані кожним приймачем,

збирають разом, вводять в комп'ютер і обробляють за допомогою спеціальних програм для визначення не відомих координат пунктів.

Статичний метод використовують для вирішення задач щодо визначення контролю національних, континентальних геодезичних мереж, моніторингу тектонічних рухів земної поверхні, а також ведення спостереження за станом дамб, фундаментів атомних електростанцій та споруд [4].

Псевдо статичний метод GPS спостережень відрізняється від статичного тим, що забезпечує ще більшу високу продуктивність зйомки за рахунок виконання спостережень упродовж декількох коротких сесій замість 1 довгої. Один GPS приймач безперервно спостерігається на базовому пункті. Перевозиться GPS приймач лише після спостережень протягом 5 - 10 хвилин на визначеному пункті, а тоді вимикається і перевозиться на наступний пункт, де знову включається на 5 -10 хвилин. Згодом він знову вимикається і перевозиться на наступний пункт і т. д.

Кожен пункт GPS спостережень не обхідно відвідати ще раз на 5 хвилин через 1 годину після такого першого відвідування. Цей метод практично є еквівалентним статичному, але замість того, щоб очікувати протягом 1 години зміни конфігурації ШСЗ, спостереження проводять протягом 5 хвилин, а наступні 5 хвилин спостерігають однією годиною пізніше, коли їх конфігурація істотно змінилася. 55 хвилин, що залишаються можна використати для відвідування додаткових не відомих пунктів GPS зйомки. Точність таких отриманих результатів буде на рівні статичного методу.

Такий метод спостережень можуть виконувати, як одно частотними, так і дво частотними приймачами. Цей метод зручний є зручним у застосуванні тоді, коли не обхідно протягом короткого проміжку часу провести точне вимірювання координат для великої кількості точок. Недоліком такого методу є не обхідність точного планування графіку відвідування пунктів GPS спостережень.

Кінематичний метод "стій-іди" (Stop and Go) дозволяє отримати положення GPS пунктів так само швидко, як при використанні електронного тахеометра при вирішенні задач з топографії. Відповідний метод вимагає

виконання короткої процедури з ініціалізації для визначення ціло чисельних не однозначностей фаз. Після цього опорний базовий приймач продовжує безперервно спостерігатися на пункті з уже відомими координатами, а другий приймач «роверний» буде перевозитися (у включеному стані) на перший пункт з невідомими координатами, де знову спостерігається упродовж 1 хвилини. Потім його переносять на всі інші пункти з невідомими координатами, але лише по одному разу [5].

Варто зазначити, що найбільш поширеними є такі процедури ініціалізації:

- обмін антенами, коли другий GPS приймач знаходиться на "пункті обміну" при цьому знання його координати є не обов'язковою, що має бути розташованим на відстані не більше 10 м від опорного GPS приймача, де виконується спостереження упродовж 4-8 епох, а потім GPS приймачі переставляють (без виключення), змінюючи у них антени і спостерігають 4 -8 епох (упродовж де кількох хвилин). Після цього відбувається зворотна процедура щодо обміну антенами, виконання спостережень для 4-8 епох;

- стояння другого GPS приймача протягом 1 хвилини на другому пункті з уже відомими координатами, при чому цей другий пункт може бути на відстані не більше 10 км від такого опорного пункту;

- статичний метод, коли визначають пункт на відстані не більше 10 км від опорного пункту, а сеанс GPS спостережень повинен мати тривалість не менше 30 хвилин [8].

Недолік цього методу полягає в не обхідності безперервного під час руху спостереження для не менше 4 супутників одночасно. Якщо число цих супутників падає хоча б до трьох хоча то, необхідно повернутися на останній пункт GPS спостережень або знову провести процедуру ініціалізації. З метою уникнення такого процесу потрібно перш за все забезпечити можливість спостереження одночасно для п'яти або більше ШСЗ.

Кінематичний метод "стій-іди" є ефективним при виконанні топографічної зйомки, за умови коли за короткий проміжок часу не обхідно визначити координати для великого числа точок, а також при побудові цифрових моделей

рельєфу, визначенні місця розташування чималої кількості об'єктів місцевості, що мають форму ламаної лінії [1].

У результаті GPS приймачі вимірюють значення координати пункту станом за період часу поширення сигналу від ШСЗ, обчислюючи при цьому відстань "супутник-приймач". Для обчислення цієї відстані користуються тим, що радіо сигнал поширюється зі швидкістю світла. Тому для визначення місця розташування точки потрібно знати 3 координати. На практиці завжди присутньою є помилка, що обумовлена розбіжністю шкал часу ШСЗ і GPS приймача. З цієї причини обчислюють спотворене значення дальності до супутника або "псевдо відстані". Вимірювання таких відстаней до всіх ШСЗ, з якими в даний момент працює GPS приймач, відбувається одночасно. Тому, для всіх вимірювань величину тимчасової не відповідності відстані до ШСЗ можна вважати постійною. Для цього не обхідно виконати вимірювання псевдо відстаней до чотирьох супутників і більше у результаті чого отримаємо значення координати (X, Y і H), а також точний час.

1.2. Класифікація похибок GPS спостережень

На точність визначення координат при застосуванні методу GPS спостережень суттєвий вплив чинять похибки, що виникають при виконанні процедури цих вимірів. Зокрема виділяють.

1. Не точне визначення часу – при всій точності часових еталонів ШСЗ все одно існує деяка похибка шкали часу для апаратури супутника, що призводить до виникнення систематичної похибки при визначенні координат біля 0,6 м.

2. Похибка обчислення орбіт – у результаті не точностей прогнозу і розрахунку ефемериди ШСЗ, виконуваних в апаратурі GPS приймача. Ця похибка ж носить систематичний характер, що призводить до похибки виміру координат у розмірі 0,6м.

3. Приладова похибка приймача – зумовлена наявністю шумів в електронному тракті GPS приймача. Це спричиняє відношення сигналу до шуму GPS приймача, що визначає точність процедури порівняння прийнятого від ШСЗ і опорного сигналів, а саме похибкою обчислення псевдо відстані. Наявність такої похибки призводить до виникнення координатної похибки у розмірі 1,2м.

4. Багато путність розповсюдження сигналу – результат вторинного відбиття сигналу ШСЗ від крупних перешкод, що є розташованими в безпосередній близькості від GPS приймача. Тоді виникає явище інтерференції, а виміряна віддаль буде більшою за дійсну. Аналітично таку похибку оцінити не легко, а найкращим способом її уникнення є раціональне розміщення антени GPS приймача відносно перешкод. В результаті такого впливу похибка визначення псевдо віддалі може зрости на 2,0 м.

5. Іоносферні затримки сигналу – призводить до затримки поширення сигналу ШСЗ, що є прямо пропорційним до концентрації електронів та обернено пропорційним квадрату частоти радіо сигналу. Для компенсації такої виникаючої похибки визначення псевдо віддалі використовують метод дво частотних вимірів на частотах L1 і L2 у дво частотних приймачах. Це пов'язано з тим, що лінійні комбінації дво частотних вимірів не мають іоносферних похибок для першого порядку. Тому для часткової компенсації цієї похибки може бути застосовано модель корекції, яка аналітично розраховується на основі використання інформації з навігаційного повідомлення. Величина відповідної іоносферної затримки може визвати похибку визначення псевдо віддалі у розмірі до 10,0 м.

6. Тропосферні затримки сигнал – обумовлює затримку поширення радіо сигналу від ШСЗ. Її величина залежить від метео параметрів, а саме тиску, температури, вологості, а також математичної моделі шару атмосфери. Тропосферні затримки забезпечують наявність похибки виміру псевдо віддалей в розмірі 1 м.

7. Геометричне розташування супутників – враховують взаємне положення користувача і ШСЗ. Для цього застосовують спеціальний коефіцієнт

геометричного погіршення точності PDOP (Position Dilution Of Precision), на який потрібно помножити всі перераховані вище похибки з метою одержання остаточної похибки. Величина такого коефіцієнта PDOP залежить від взаємного розташування ШСЗ і GPS приймача. Вона є обернено пропорційною до об'єму фігури, яка буде утвореною, якщо провести одиничні вектори від GPS приймача до ШСЗ. Велике значення PDOP говорить про не вдале розташування ШСЗ і велику величину похибок. На рис. 1.2 та 1.3 приведено приклади вдалого і не вдалого геометричного положення ШСЗ. За відповідних умов типове середнє значення PDOP буде коливатися від 4 до 6 [23].

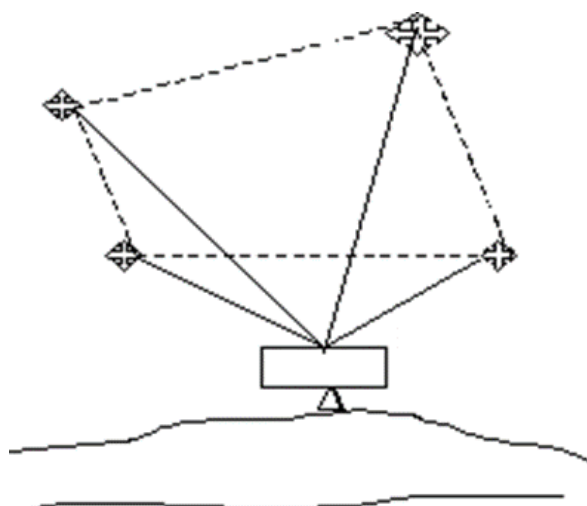


Рисунок 1.2. – Вдале положення ШСЗ за малого значення PDOP.

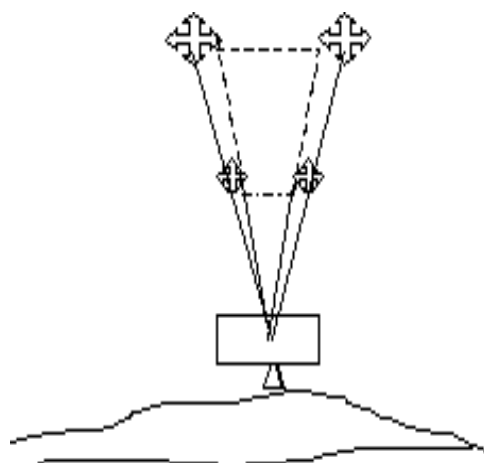


Рисунок 1.3. – Не вдале положення ШСЗ за великого значення PDOP.

Точність GPS вимірів є обумовленою цілим рядом джерел похибок, як випадкового так і систематичного походження, що проілюстровано на рис. 1.4.



Рисунок 1.4. – Класифікація похибок GPS спостережень.

Згідно з інформацією, що подана на рис. 1.4. джерела похибок поділяють на три групи через:

- сузір'я супутників;
- зовнішні умови;
- GPS приймач [20].

Похибки, що обумовлені сузір'ям супутників передбачають:

1. випадкову похибку, обумовлену геометрією сузір'ям супутників;
2. систематичну похибку щодо визначення часу атомним годинником GPS супутника;
3. систематичну похибку щодо визначення ефемериди і координат супутника.

Так, на визначення координат місця положення GPS приймача суттєвий вплив має конфігурація ШСЗ, від яких одночасно приймають сигнали, та їх кількість. Відповідно утворена одиничними векторами від антени до супутників просторова засічка буде мати пірамідальну форму, а точність визначення

координат антени буде найвищою при набуванні нею максимального об'єму, що у цьому випадку не завжди відповідає максимальній кількості супутників, від яких приймаються сигнали (рис. 1.5).

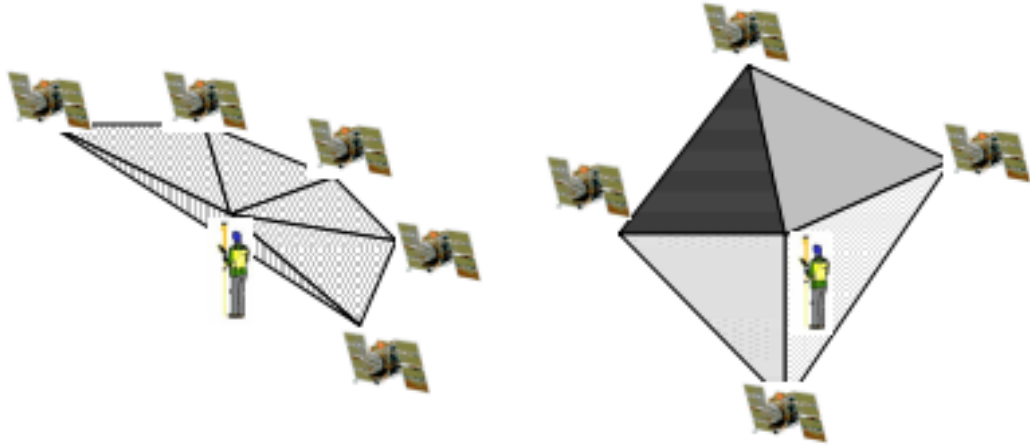


Рисунок 1.5. – Місце розташування ШСЗ при виконанні GPS спостережень.

Крім того, серед критеріїв точності визначення розрізняють наступні характеристики:

GDOP – Geometric DOP – просторово-часовий параметр;

PDOP – Position DOP – просторове координатне положення;

HDOP – Horizontal DOP – планове положення;

VDOP – Vertical DOP – висотне положення;

TDOP – Time DOP – одномірний часовий параметр [19].

Найбільш поширеним є параметр GDOP, який змінюється у межах від одиниці до нескінченності. GPS вимірювання виконують при значенні GDOP у межах 8-ми одиниць.

Джерела помилок також можна поділити на три групи, що є пов'язаними безпосередньо із (табл. 1.1):

- супутниками (не точність ходу годинника, зсув антени, зміна її фазового центру);

- середовищем поширення (вплив тропосфери, іоносфери, багатошляховість);

- приймачем сигналів (не точність годинника, зміни положення фазового центру антени).

Таблиця 1.1 – Джерела помилок, що впливають на GPS сигнали

Джерело	Вплив
ШСЗ	Похибка орбіти, зміщення фазового центру орбіти
Середовище поширення сигналу ШСЗ	Тропосферна й іоносферна реакції
GPS приймач	Зміщення фазового центру антени, похибки годинника ШСЗ, багато шляховість поширення GPS сигналу

Також суттєво впливають на точність GPS вимірів і релятивістські ефекти, інші джерела помилок, що є пов'язаними з точністю супутникових орбіт, переміщенням GPS приймача внаслідок деформацій земної поверхні, дефектами частоти [4].

В табл. 1.2 наведено джерела помилок, діапазон їхнього впливу на результати вимірювань [27].

Таблиця 1.2 – Джерела помилок внаслідок проведення GPS спостережень

Джерела похибки	Діапазон їх впливу
Годинник ШСЗ	± 2 м
Орбіта	$\pm 2,5$ м
Іоносфера	± 5 м
Тропосфера	$\pm 0,5$ м
Шум GPS приймача	$\pm 0,3$ м
Багато шляховість	± 1 м

На кодові, фазові псевдо віддалі впливають також різноманітні джерела помилок. Це, систематичні похибки, до прикладу, випадкові шуми, які є спричиненими апаратурою або середовищем, через яке проходить GPS сигнал. Тут необхідно зауважити, що на доплерівські виміри впливають лише швидкості зміни таких систематичних зсувів [26].

Варто врахувати, що вплив різних джерел помилок на результати GPS вимірювань, які отримані використовуючи супутникові технології, можна зменшити або повністю усунути дотримуючись норм, правил, методики

виконання спостережень. Тому, різниці між параметрами, які отримали різними GPS приймачами, усувають зсуви, джерелом яких є один з GPS приймачів, а в різницях, отриманими за результатами спостережень різних ШСЗ є відсутні похибки, що зумовлені одним із супутників. Обчислені таким чином подвійні різниці псевдо відстаней суттєво зменшують вплив систематичних помилок, причиною яких є ШСЗ та GPS приймач. Щоб підвищити точність результатів супутникових спостережень можна за допомогою певного комбінування спостережуваних величин, змінити тривалість спостережень, виконувати спостереження у різні проміжки часу при іншій конфігурації, кількості супутників, застосовуючи багато частотні приймачі, при опрацюванні використовувати точні ефемериди.

1.3. Структура системи GPS спостережень

Global Positioning System (GPS) – Глобальна система позиціонування надає користувачам послуги з позиціонування, навігації та визначення часу. Відповідна система складається з 3-ох сегментів: просторового, сегмента керування та сегменту користувача.

Космічний сегмент GPS складається з сукупності сузір'я супутників, що передають радіо сигнали користувачам. Сполучені Штати Америки зобов'язані підтримувати наявність щонайменше 24 діючих супутників. Таким чином, супутники GPS літають на середній орбіті Землі на висоті приблизно 20 200 км, що дозволяє обходити Землю двічі на день.

Супутники системи GPS спостережень розташовані в шести однаково розташованих орбітальних площинах, що оточують Землю. Кожна з таких площин містить чотири поверхні, зайняті базовими супутниками, що забезпечує користувачам можливість перегляду принаймні 4-ох супутників практично з будь-якої точки планети.

GPS створено, як систему для вимірювання віддалей від відомих положень ШСЗ у космосі до не відомих координат місця положення на землі, у морі, в

повітрі або навколо земному космосі. На початку перед GPS системою ставилася мета щодо миттєвого визначення положення, швидкості на не перервній основі, а також високо точного координування часу чи його поширення [6].

Космічний сегмент GPS супутників має приблизно однакові колові орбіти висотою 20200 км над поверхнею Землі, що належать до класу супутників із середньою навколо земною орбітою, мають період обертання упродовж 12 зоряних годин. Формально таке сузір'я складається із 24 працездатних, а також 15 супутників, що розгорнуті у 6-ти рівно віддалених площинах із нахилом 55° до земного екватора, по 4 супутники на 1 площину, про що видно з рис. 1.6.



Рисунок 1.6. – Зображення космічного GPS сегменту.

Окрім 24 діючих супутників можуть працювати запасні супутники. За допомогою побудови такої архітектури сузір'я супутників космічний сегмент GPS забезпечує глобальне покриття у будь-який момент часу доби у будь-якому місці на висоті понад 15° над горизонтом, що дозволяє одночасно спостерігати від 4 до 8 супутників. За умови, що мінімальний кут місця розташування можна буде зменшити до 10° , то де коли буде можливість спостерігати до 10 ШСЗ, якщо мінімальний кут місця ШСЗ зменшити до 5° – то до 12 супутників [7].

GPS супутники є основою для комплексу із трансверів системи приймачів та передавачів, атомних годинників, комп'ютерів, різно манітної допоміжної апаратури. Допоміжне електронне обладнання для кожного супутника надає змогу користувачеві вимірювати псевдо відстані від приймача до ШСЗ. Всі супутники у свою чергу несуть допоміжне обладнання, що складається зі

сонячних батарей для енерго живлення, реактивної системи для коригування орбіти, контролю її стабільності [20].

Існує суттєва відмінність між ШСЗ типу Block I і ШСЗ типу Block II, що спричинено питанням національної безпеки США. Так, сигнали супутника типу Block I надають у відкритому доступі усім цивільним користувачам. Супутники типів Block II та Block IIА мають можливість обмежувати доступ у цивільних користувачів до сигналів супутника.

Супутники типу Block II є оснащеними засобами для здійснення двобічного зв'язку. Модернізовані супутники Block IIR-M мають змогу надавати військовим, цивільним користувачам нові послуги, що суттєво покращує експлуатаційні характеристики GPS для навігації.

Перший запуск на орбіту ШСЗ типу Block IIF здійснено у 2005 р. Вони перебувають на етапі збірки, а супутники Block IIIА зараз знаходяться у стані проектування. З 1987 р. система GPS використовує опорну Всесвітню геодезичну референцну систему WGS-84, що задає координати відносно центру мас Землі. Поверхнею відліку тут є геоцентричний екіпотенціальний еліпсоїд обертання, який є визначений великою піввіссю, зональною гармонікою 2-го степеня, кутовою швидкістю для обертання Землі, її гравітаційною сталою [5].

Система оперативного керування GPS системою складається із головної станції керування, а також додаткової головної станції, 4-ох окремих наземних антен, 6-ти виділених станцій моніторингу. Головними завданнями відповідної системи оперативного керування є стеження ШСЗ з метою визначення, передбачення орбіти ШСЗ, годинникової синхронізації ШСЗ та передача даних на ШСЗ.

Головна станція керування ШСЗ є розташованою в Об'єднаному центрі космічних операцій на базі військових та повітряних сил у м. Колорадо-Спрінгз (США). Цей центр збирає дані зі станцій GPS спостережень та обчислює орбіти ШСЗ, а також параметри годинників за допомогою оцінки. Одержані результати потім передають на одну із 3-ох наземних станцій сегменту керування для остаточної передачі на ШСЗ. Головна станція сегменту керування є

відповідальною за контроль стану супутників, керування всією системою як єдиним цілим [25].

Сьогодні GPS приймачі використовують під час наступних робіт:

1. геодинаміка, тектоніка – надає можливість спостерігати, аналізувати рухи тектонічних плит, оцінювати їх коливання;
2. геодезія – з метою розповсюдження референцної системи координат, визначення координат з точністю у кілька міліметрів;
3. картографія – у сфері моделювання, створення цифрових карт;
4. навігація – для підвищення точності в авіаційній, морській, космічній, дорожній навігаціях;
5. супутниковий моніторинг транспорту – це можливість стеження за положенням, швидкістю, рухом автотранспорту;
6. геотегування – виконання прив'язки координат до фотографії.

Сьогодні в обігу є широкий вибір типів GPS приймачів для того, щоб задовольнити різноманітні потреби військових, цивільних користувачів.

Професійне GPS обладнання характеризується вищою якістю виготовлення, якісним програмним забезпеченням, швидкими системами усунення інтерференційних залежностей. Класифікацію GPS приймачів можна здійснити на основі типу спостережуваних величин, серед яких виділяють кодові псевдо віддалі або фази носія, можливості доступу до кодів C/A-код, P-коду або Y-коду.

У C/A-кодових GPS приймачах вимірюють тільки кодові псевдо віддалі з використанням C/A-коду. Такі типові моделі, маючи від 1 до 6 незалежних каналів прийому, подають просторові геоцентричні координати, а саме довготу, широту та висоту, а також координати у певній картографічній проекції.

Одноканальні приймачі є цілком спроможними задовольнити користувача у випадку стаціонарної станції, коли є можливим послідовний режим виконання спостережень. У P-кодових GPS приймачах використовують P-код, що надає можливість стежити за несучими хвилями на частотах L1 та L2. Дані P-коду отримують з несучих хвиль, шляхом кореляції з точною копією, яка генерується

у GPS приймачі. При цьому варто усунути кодові компоненти, прийнятого з ШСЗ сигналу, перш ніж буде можливим спостереження фази. Точність при визначенні великих за довжиною відстані між станціями 100 км, стала дорівнювати тепер кільком сантиметрам [8].

Застосування методу лінійної комбінації для величин фаз несучих хвиль на частотах L1 та L2 має назву широко смугової, що дає можливість обчислити відстані для 20 середньої довжини 20 км з тією ж точністю, що й для даних з відносно короткими десяти хвилинними сеансами спостережень. Таким чином, при увімкненому стані A-S здійснюється заміна уже відомого P-коду не відомим Y-кодом, через це традиційний метод кореляції більше не можуть використовувати.

GPS приймач з увімкненим режимом A-S може функціонувати в без кодовому або квазі безкодовому режимі, забезпечуючи GPS даними фази несучої хвилі, кодових псевдо віддалей для частоти L2 без знання Y-коду.

Y-кодові GPS приймачі забезпечують доступність P-коду при умові ввімкнення режиму A-S. За допомогою методу кореляції P-коду із GPS сигналів на частотах L1 і L2 можна отримати виміри кодових псевдо відстаней чи фаз. Доступ до P-коду досягають шляхом підключення додаткової інтегральної мікро схеми на виході від кожного каналу. Такі мікросхеми дозволяють дешифрувати Y-код в P-код, виправити зміни, що були внесені застосуванням S-A [5].

Для того, щоб визначити вектор місця положення, швидкості супутників у гео центричній системі відліку в будь-який момент часу використовують три набори даних: дані альманаху, ефемериди, що передаються з супутника, точні ефемериди.

Мета опрацювання даних альманаху полягає у забезпеченні користувача точними даними про орбіти ШСЗ, щоб полегшити користувачеві роботу щодо пошуку видимих супутників, розв'язання задач з обчислення діаграми видимих координат місця положення супутників. Дані альманаху ШСЗ передають одночасно із його сигналом, що містить інформацію про параметри орбіти, поправки годинників ШСЗ (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Інформація з альманаху ШСЗ

Параметр	Зміст
ID	Ідентифікаційний номер ШСЗ
HEALTH	Стан ШСЗ
WEEK	Поточний GPS тиждень
t	Опорна епоха у секундах від початку поточного тижня
l	Велика піввісь ШСЗ
e	Ексцесинтрет
M	Середня аномалія
w	Аргумент перигею
δ	Відхилення нахилу орбіти ШСЗ
i	Довгота вузла на початок GPS тижня
Ω	Швидкість зміни положення вузла
a ₀	Зсув шкали годинника ШСЗ
a ₁	Зсув частоти годинника ШСЗ

Трансльовані ефемериди відображають спостереження з п'яти станцій спостереження, які входять до сегменту управління GPS системи. Їх використовують для обчислення опорної орбіти ШСЗ. Результати таких додаткових вимірів потім використовують для екстраполяції ефемериди на найближчий час. Відповідні дані про орбіти мають точність на рівні 5-ти метрів за умови, що їх виконують не менше 3-ох разів за добу [21].

Згідно до прогнозу ефемериди тільки 1 раз за добу, то тоді очікувана точність буде становити приблизно 10 м. Дані, що передаються разом з ефемеридами, наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Дані ефемериди, що передається з ШСЗ

Параметр	Зміст
ID	Номер ШСЗ
WEEK	Вік ефемериди
t	Епоха моменту відліку ефемериди ШСЗ
Δn	Різниця параметрів середнього руху ШСЗ
v	Швидкість зміни нахилу орбіти ШСЗ
Ω	Швидкість зміни положення вузла прямого сходження
C	Коефіцієнт поправки по аргументу перигею ШСЗ

Таким чином, головна станція системи GPS управління відповідає за обчислення ефемериди, оновлення відповідних даних ШСЗ. Ця інформація містить 6 параметрів для відображення згладженого еліпса Кеплера на обрану епоху, параметри деяких вікових, періодичних поправок. Усі параметри передаються із супутника кожної години та можуть бути використані приблизно протягом наступних 4-ох годин [8].

Дані спостережень величин GPS супутників являють відстані, що є одержаними з виміряного проміжку часу, різниці фаз, шляхом порівняння отриманого сигналу, а також сигналу, що генерується у GPS приймачі. За таких умов використовується концепція одно бічного зв'язку, де сигнал передається від фазового центру передавача GPS супутника до фазового центру антени GPS приймача, тому отримані відстані мають певний зсув та одержали назву псевдо віддалей.

У порівнянні з сучасними ШСЗ наступне покоління має багато удосконалень. До них планується додати функції між супутникового обміну даними, для того щоб зробити систему більш не залежною. За тих умов, здатність до автономної навігації через перехресну між супутникову віддале метрію надасть ШСЗ можливість визначати власне положення самостійно, без ведення пильного стеження із землі [22].

У результаті майбутні ШСЗ матимуть такі переваги, серед яких у першу чергу відзначатимуть точність навігації, що буде утримуватися стабільною протягом 6-ти місяців без наземної підтримки, керування, а проблеми із перевантаженням супутникових каналів зв'язку будуть мінімізованими, буде здійснюватися одне відвантаження даних на всі космічні апарати на місяць замість 1, що призведе до зменшення у закордонних станціях для підтримки навігації.

2. МЕТОДИЧНІ ЗАСАДИ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПУНКТІВ GPS-СПОСТЕРЕЖЕНЬ

2.1. Методичні основи абсолютного методу визначення координат пункту GPS спостережень

Відповідно до формули основного рівняння космічної геодезії для визначення топоцентричного радіуса-вектора супутника r' :

$$r' = r - R,$$

де, r і R – це геоцентричні радіуси – вектори супутника і пункту GPS спостереження.

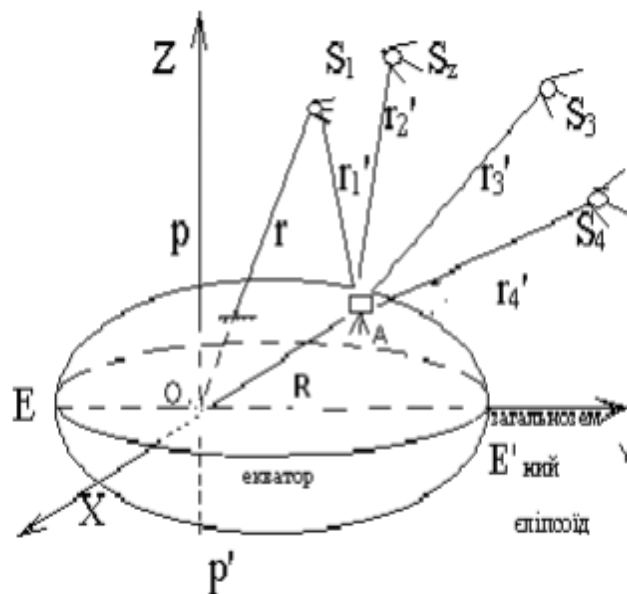


Рисунок 2.1. – Схема GPS спостережень.

На рис. 1.1. на схематичному відображенні GPS спостережень на поверхні референс-еліпсоїда відображено точку O – його центр, A – відповідно сам пункт спостережень.

З метою визначення координат пункту GPS спостережень необхідним є параметр псевдовідстані ρ , що представляє модуль топоцентричного радіуса – вектора супутника $|r'|$, що може бути збільшеним або зменшеним у залежності від знаку τ на значення добутку швидкості світла c та різниці самих поправок

годинників супутників і приймача. Звідси:

$$\tau: \rho = r' + c\tau,$$

$$\rho = r - R + c\tau.$$

У результаті через розрахунок координат і-го супутника $r_i \{x_i, y_i, z_i\}$ та пункту GPS спостереження $r(x, y, z)$ ми визначаємо ρ , що прийме вигляд:

$$\rho_i = \sqrt{(x_i - X)^2 + (y_i - Y)^2 + (z_i - Z)^2} + c\tau.$$

Для виконання зрівноваження координат пункту GPS спостереження та визначення поправки часу саме рівняння поправок записуємо у вигляді:

$$\frac{\partial \rho_i}{\partial x} \Delta x + \frac{\partial \rho_i}{\partial y} \Delta y + \frac{\partial \rho_i}{\partial z} \Delta z + \frac{\partial \rho_i}{\partial \tau} \Delta \tau - \Delta \rho_i = V_i,$$

де, Δx , Δy , Δz і $\Delta \tau$ – поправки до координат пункту GPS спостережень, показників часу годинника GPS приймача;

v_i – похибки;

$\Delta \rho_i$ – різниця між виміряною та обчисленою псевдовідстанями GPS спостережень до і-го супутника,

n – кількість вимірних псевдо відстаней.

Далі у рівнянні поправок GPS спостережень позначають частинні похідні та вільний член рівняння відповідно через a_i , b_i , c_i , d_i та l_i , що можна представити його у звичному вигляді:

$$a_i \Delta x + b_i \Delta y + c_i \Delta z + d_i \Delta \tau + l_i = v_i$$

Тоді у цій формулі порядок величин a_i , b_i , c_i буде значно меншим від порядку коефіцієнта d_i . При виконанні обчислень це призведе до великих похибок та заокруглень, зниження точності для визначуваних параметрів Δx , Δy , Δz , $\Delta \tau$. Поправку годинника приймача $\Delta \tau$ знаходимо, як поправку до її добутку на швидкість світла, що визначається як $c = 299792.548 \text{ км/с}$, тоді $\Delta t = c \Delta \tau$.

Далі визначаємо систематичну похибку для геометричних відстаней від супутника до антени приймача, що є викликаною похибкою дії годинника приймача, яку перетворюємо у відстані та псевдо відстані.

За відповідних умов формули набудуть вигляду:

$$a_i = \frac{x_i - x^0}{\rho_i},$$

$$b_i = \frac{y_i - y^0}{\rho_i},$$

$$c_i = \frac{z_i - z^0}{\rho_i},$$

$$d_i = l_i.$$

$$l_i = [(\rho_i)_{\text{вим.}} - (\rho_i)_{\text{обч.}}],$$

$$(\rho_i)_{\text{обч.}} = \sqrt{(x_i - X^0)^2 + (y_i - Y^0)^2 + (z_i - Z^0)^2} + c\tau,$$

де X^0, Y^0, Z^0 – наближені координати пункту GPS спостережень,
(рі)вим. – виміряна псевдо відстань при виконанні GPS спостережень.

Система рівнянь поправок набуде вигляду системи нормальних рівнянь, що обчислюють за способом найменших квадратів [13]:

$$[aa]\Delta x + [ab]\Delta y + [ac]\Delta z + [ad]\Delta t + [al] = 0,$$

$$[ab]\Delta x + [bb]\Delta y + [bc]\Delta z + [bd]\Delta t + [bl] = 0,$$

$$[ac]\Delta x + [bc]\Delta y + [cc]\Delta z + [cd]\Delta t + [cl] = 0,$$

$$[ad]\Delta x + [bd]\Delta y + [cd]\Delta z + [dd]\Delta t + [dl] = 0.$$

2.2. Методика розрахунку положення ШСЗ в диференційному режимі

Глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS), до прикладу такі як американська GPS, або російська ГЛОНАСС чи європейська система Galileo, безперервно забезпечують автономне гео просторове позиціонування для визначення координат пункту GPS спостережень з глобальним покриттям. Наземні (космічні) GPS приймачі увесь час збирають сигнали від орбітальних супутників, для того щоб визначити їхнє місце розташування у трьох вимірах, а також розрахувати точний час. Вони у свою чергу виявляють, декодують,

обробляють псевдо діапазон (код) та фазу, що передається супутниками GNSS [17].

Таким чином, поправки у псевдо відстані формують згідно з результатами роботи базової станції GPS спостережень, за допомогою методу порівняння геометричних відстаней, що визначають за відомими координатами, з псевдо відстанями, визначеними на основі спостережень зі ШСЗ.

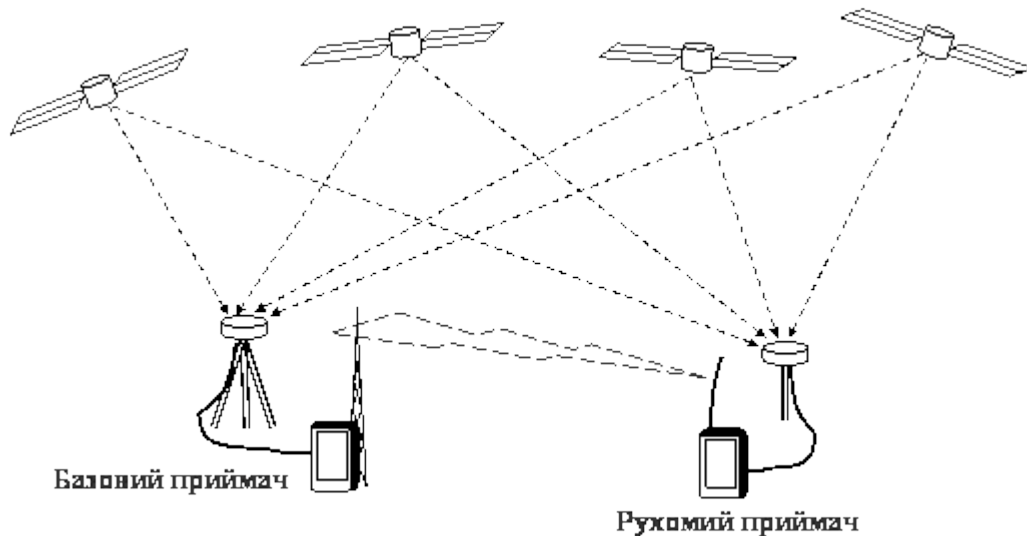


Рис. 2.2. – Вимірювання координат пункту GPS спостережень у диференційному режимі.

Функціонуюча інформаційна система космічних даних Crustal Dynamics (CDDIS) є розробленою з метою забезпечення центрального банку даних для роботи NASA Crustal Dynamics Project (CDP). Ця система продовжує Проект космічної геодезії NASA, а також NASA Enterprise Science Enterprise.

CDDIS – це спеціальний банк даних, створений для архівування, розповсюдження наборів даних, що є пов'язаними з супутниковими спостереженнями. Станом на сьогодні CDDIS архівує, розповсюджує переважно глобальні навігаційні супутникові системи (GNSS, GPS та GLONASS), містить лазерні діапазони, як для штучних супутників, SLR, так і для Місяця, LLR, надає інформацію про дуже довгі базові лінії інтерферометрії (VLBI), а також дані про доплерівські орбітографії та радіо позиціонування, що є інтегрованими за

допомогою супутника (DORIS) для постійно зростаючих потреб супутникової геодезії [14].

CDDIS є глобальним центром обробки даних для Міжнародної служби GNSS, а також активно підтримує Міжнародну службу з лазерного діапазону (ILRS), геодезії та астрометрії (VLBI), DORIS, обертання та довідкових систем Землі (IERS) як глобальний центр з обробки даних.

З 1992 року CDDIS підтримує виконувати архівування даних, продуктів GNSS для Міжнародної служби GNSS, як одного з 6-ти глобальних центрів обробки даних та забезпечує таким чином онлайн доступ до даних GNSS, а також та продуктів пілотних проектів, що є отриманими у результаті обробки цих даних.

Аналітичні центри IGS дають змогу приймати рішення для обчислення ефемерид супутникових орбіт CDDIS за наперед визначеними графіками, що формують щоденно, щоденно або щотижня, у залежності від продукту даних. У результаті координатор центру аналізу IGS отримує відповідні рішення і виробляє комбінований продукт, що архівується в системі CDDIS і є офіційними продуктами IGS.

Дані IGS є доступними в трьох формах: над швидкі, швидкі, остаточні. Ультра швидкий продукт є корисним для роботи в режимі реального, а також через регулярні проміжки часу 4 чотири рази на день; над швидке рішення у той же час включає, як спостережувані, так і передбачувані орбіти супутника. Комбінація інформації з такої швидкої орбіти - це щоденне рішення, яке є доступним приблизно через 17 годин після закінчення попереднього дня у системі UTC. Остаточні, найбільш послідовні, якісні рішення IGS складаються з щоденних файлів на орбіті, які формують щотижня упродовж 13 днів після закінчення тижня після їхнього вирішення у форматі Extended Standard Product-3 (SP3c).

Продукти IGS GNSS (ефемериди орбіти ШСЗ, положення станцій GPS пунктів спостережень, EOP, годинникові рішення) є доступними у підкаталогах. Таким чином, файли з узагальненнями рішень надають з метою централізованого

аналізу, де описують методи, відповідні стратегії аналізу, перераховують статистику обробки [18].

Аналітичні центри IGS обробляють дані GNSS із глобальної мережі станцій IGS з метою створення повного та послідовного набору продуктів, що використовуватимуть найновіші моделі, оновлену обробку стратегії визначення координат пункту при проведенні GPS спостережень. Такі рішення є доступними у структурі тижневих підкаталогів, наприклад, у підкаталогах /repro1 та /repro2, що відображено за посиланням <https://cddis.nasa.gov/archive/gnss/products> у системі CDDIS.

У структурі системи IGS кожен компонент має свої специфічні обов'язки, що залежать від роботи інших структурних одиниць. Серед них можна виділити наступні:

- мережа станцій GPS спостереження;
- операційні центри;
- регіональні центри для збору даних;
- глобальні центри зі збору даних;
- центри виконання аналізу;
- координатор центру аналізу;
- центральне бюро IGS;
- міжнародна керуюча структура [21].

Згідно до методики розрахунку псевдо відстань від i -го супутника до приймача до базової станції А буде становити:

$$P_{Ai} = R_{Ai} + c \cdot \Delta t_{dAi} + c \cdot (\Delta t_{nA} - \Delta t_{ci}) + e_{Ai},$$

де, R_{Ai} – геометрична відстань;

Δt_{dAi} – затримка на шляху “ШСЗ-приймач А”;

Δt_{nA} – помилка годинника ШСЗ;

e_{Ai} – інші помилки вимірювання.

Після цього станція самостійно формує по кожному супутнику поправку згідно формули, яка буде передаватися іншим приймачам:

$$dP_i = R_{Ai} - P_{Ai} = -c \cdot \Delta t_{dAi} - c \cdot (\Delta t_{nA} - \Delta t_{ci}) - e_{Ai},$$

GPS приймач визначає псевдо відстані до ШСЗ і виправляє їх на величини одержаних поправок за формулою:

$$P_{Bi} = R_{Bi} + c \cdot \Delta t_{dB_i} + c \cdot (\Delta t_{nB} - \Delta t_{ci}) + e_{Bi} + dP_i,$$

$$P_{Bi} = R_{Bi} + c \cdot (\Delta t_{dB_i} - \Delta t_{dAi}) + c \cdot (\Delta t_{nB} - \Delta t_{nA}) + (e_{Bi} - e_{Ai}).$$

На основі розрахунку псевдо відстаней GPS приймач формує систему рівнянь для визначення свого місця положення.

Тоді поправки в фазові відстані формують на основі показників базової станції, шляхом оцінки відомої геометричної відстані на основі числа цілих хвиль у відстані до положення ШСЗ.

Після визначення таким чином положення ШСЗ за частиною фазової відстані до i -го ШСЗ буде становити:

$$P_{Ai} = R_{Ai} - N_{Ai} \lambda + D_{Anp} + D_{Ai\ cym} + e_{Ai},$$

де R_{Ai} – геометрична відстань;

D_{Anp} – відстань визначена, помилкою годинника ШСЗ;

$D_{Ai\ cym}$ – відстань визначена, помилкою годинника ШСЗ;

e_{Ai} – інші помилки вимірювання.

Станція положення ШСЗ формує оцінку числа N_{Ai} у визначенні K_i , що не дорівнює точному числу N_{Ai} , але є близьким до нього. Відповідно відстань до ШСЗ буде становити:

$$D_{Ai} = P_{Ai} + K_{Ai} \lambda,$$

диференційна поправка дорівнюватиме:

$$\Delta D_i = R_{Ai} - D_{Ai} = R_{Ai} - P_{Ai} - K_{Ai} \lambda,$$

$$P_{Ai} = (N_{Ai} - K_{Ai}) \cdot \lambda - D_{Anp} - D_{Ai\ cym} - e_{Ai}.$$

GPS приймач вимірюватиме фазову відстань та формуватиме рівняння, використовуючи отримані поправки за формулою [13]:

$$P_{Bi} = R_{Bi} - N_{Bi} \lambda + D_{Bi \text{ np}} + D_{i \text{ сун}} + e_{Bi} + \Delta D_i,$$

$$P_{Bi} = R_{Bi} - (N_{Bi} - N_{Ai} + K_{Ai}) \cdot \lambda + (D_{Bi \text{ np}} - D_{Ai \text{ np}}) + (e_{Bi} - e_{Ai}).$$

2.3. Алгоритм побудови та оцінки точності математичної моделі розрахунку координат пункту GPS приймача

Математичну модель пункту GPS спостереження побудовано у вигляді формули:

$$L = aX + bY + cZ + dT + l,$$

де невідомі коефіцієнти позначено а, b, с та d, що знаходять за процедурою способу найменших квадратів. Згідно до неї систему нормальних рівнянь за пишемо у формулі Гауса [23]:

$$\begin{aligned} [aa]\Delta x + [ab]\Delta y + [ac]\Delta z + [ad]\Delta t - [al] &= 0, \\ [ab]\Delta x + [bb]\Delta y + [bc]\Delta z + [bd]\Delta t - [bl] &= 0, \\ [ac]\Delta x + [bc]\Delta y + [cc]\Delta z + [cd]\Delta t - [cl] &= 0 \quad , \\ [ad]\Delta x + [bd]\Delta y + [cd]\Delta z + [dd]\Delta t - [dl] &= 0 \quad . \end{aligned}$$

Тоді матриця коефіцієнтів нормальних рівнянь набуде вигляду:

$$N = \begin{bmatrix} [aa] & [ab] & [ac] & [ad] \\ [ab] & [bb] & [bc] & [bd] \\ [ac] & [bc] & [cc] & [cd] \\ [ad] & [bd] & [cd] & [dd] \end{bmatrix}$$

Щоб розв'язати матрицю системи нормальних рівнянь потрібно обчислити обернену матрицю за формулою [13]:

$$Q_{4 \times 4} = N^{-1} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & Q_{13} & Q_{14} \\ Q_{21} & Q_{22} & Q_{23} & Q_{24} \\ Q_{31} & Q_{32} & Q_{33} & Q_{34} \\ Q_{41} & Q_{42} & Q_{43} & Q_{44} \end{bmatrix}$$

Після виконання алгоритму дій щодо розрахунку координат пункту GPS приймача двома способами переходимо до оцінки точності виконаних нами обчислень за допомогою середньої квадратичної похибки одиниці ваги μ згідно формули:

$$\mu = \sqrt{\frac{[VV]}{n-k}},$$

де $[VV]$ – це сума квадратів відхилень відповідної зрівноваженої функції уї від її вихідних значень:

$$V = y_i' - y_i$$

де, n – це число супутників, k – число розрахованих коефіцієнтів.

Крім того, середні квадратичні похибки зрівноважених значень приростів координат знаходимо за формулою:

$$m = \mu \sqrt{\frac{1}{P}}.$$

Практично доведено, що достовірний розрахунок визначення точності результатів GPS спостережень має дуже важливе значення з метою оптимізації технології, а також мінімізації витрат на побудову, модернізацію геодезичних мереж. Таким чином, проведення аналізу щодо впливу різних факторів на точність визначення координат GPS пунктів та пошук залежності точності між параметрами векторів, положення пунктів від цих факторів має важливе практичне значення [2].

Відповідно проблема щодо визначення координат пунктів з необхідною точністю є тісно пов'язаною з питанням розрахунку точності виміру для векторів. При цьому виникає питання, якою має бути тривалість GPS спостережень. Зазвичай її встановлюють на підставі досвіду, технічних

характеристик GPS приймачів. Інформація про те, як чи інакше буде змінюватися точність для визначення параметрів векторів у разі іншої тривалості сеансів, дії різних факторів, є відсутньою в технічних описах GPS приймачів.

Зазвичай, чим більше супутників ми спостерігаємо на пункті GPS спостережень одночасно, тим кращою буде геометрія, що в свою чергу дозволить скоротити тривалість таких вимірювань. Коротшою відповідно буде тривалість сеансу і при коротких відстанях при виконанні GPS знімачь [1].

Підвищення точності визначення довжини вектора до ШСЗ при виконанні GPS спостережень є прямо пропорційним щодо збільшення тривалості спостережень. Методика щодо визначення тривалості GPS спостережень у залежності від довжини вектора для забезпечення необхідної точності визначення довжин векторів полягає у відношенні тривалості сеансу таких спостережень до їх тривалості, що є необхідною для виключення багато значності при фазовому вимірювання віддалей до ШСЗ.

На рис. 2.3 відображено, як буде змінюватися тривалість відносних статичних спостережень від довжини вектора GPS знімання та кількості супутників.

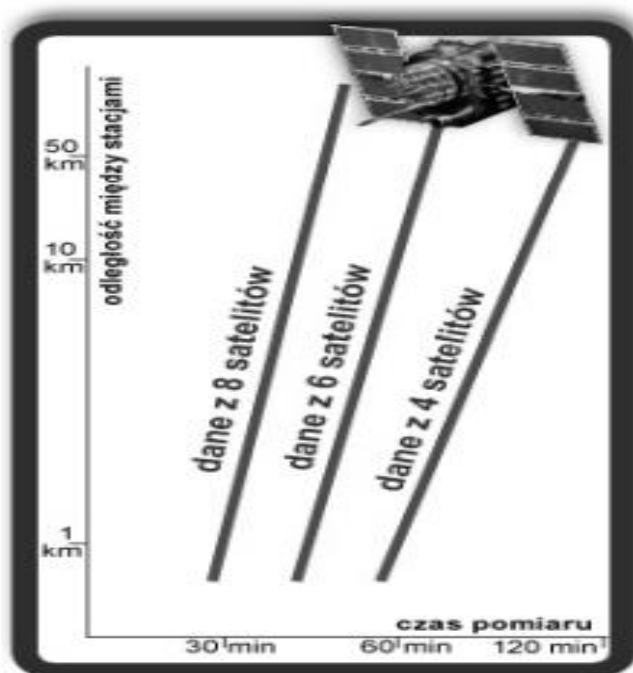


Рисунок 2.3. – Орієнтована тривалість виконання GPS спостережень у залежності від довжини вектора знімання та кількості ШСЗ.

З рис. 2.3 видно, що тривалість спостережень є найменшою, коли спостерігається не менше 8 супутників, а довжини векторів при цьому є найкоротшими. Однак, тут необхідно зауважити, що такі припущення дозволяють лише приблизно визначити тривалість для сеансу спостережень при певній кількості супутників, а також віддалі між приймачами.

Питання тривалості сеансів GPS спостережень з метою досягнення необхідної точності вимірів, виконуючи статичні вимірювання одно частотним приймачем передбачає, що мінімальна тривалість сеансу має становити при цьому 10 - 30 хвилин, якщо довжини векторів не будуть перевищувати 1 км; 30 - 60 хвилин (довжини векторів змінюються від 1 до 5 км); 60 - 90хвилин – від 5 до 10 км; 90 - 120 хвилин відповідно 10 - 20 км. Одно частотними GPS приймачами рекомендують виконувати вимірювання, якщо довжини векторів не буде перевищувати 20км [11].

Тривалість спостережень визначають не тільки типом приймачів (дво-, одно частотним) чи довжинами векторів. Важливе значення мають й інші фактори, серед яких кількість супутників, які спостерігають. В табл. 2.1 наведено мінімальну тривалість спостережень у залежності від різного діапазону векторів, типу приймача, кількості ШСЗ.

Таблиця 2.1. – Тривалість спостережень дво-, одно частотними приймачами у залежності від довжини вектора, кількості ШСЗ, що спостерігаються

Довжини векторів, км	Тривалість спостережень (хв)					
	4 супутники		5 супутників		6 або більше супутників	
	1*	2*	1*	2*	1*	2*
1-10	60	20	36	12	24	8
10-20	75	25	45	15	30	10
20-50	105	35	75	25	60	20
> 50	180	60	135	45	90	30

Отримати планові координати при виконанні GPS спостережень з точністю 10 мм, буде можливо при умові якщо вплив інших факторів буде мінімальним:

- одно частотними приймачами, якщо тривалість GPS спостережень становитиме $10 \text{ хв} + 1 \text{ хв/км}$;
- дво частотними приймачами, якщо тривалість сеансу – $5 \text{ хв} + 0,5 \text{ хв/км}$ [16].

Виконуючи GPS спостереження статичним методом кількість супутників, які одночасно спостерігаються повинна бути не менше чотирьох, параметр GDOP менший 6 цілих, а довжини векторів змінюватися від 20 до 100 км і більше, тоді можна буде досягти точності супутникових визначень – $5 \text{ мм} + 1 \text{ ppm}$. Відповідну точність можна підвищити і до $3 \text{ мм} + 0,5 \text{ ppm}$, якщо використовувати антену типу "choke-ring", а також збільшити тривалість сеансу [24].

Пункти Державної геодезичної мережі в Україні одержано у результаті виконання GPS-спостережень дво частотними приймачами з метою визначення їх місця положення у новій референційній системі координат. При цьому на виробництві також використовують і одно частотні приймачі, які характеризуються вузьким спектром функціональних можливостей [9].

Тому можна зробити висновок, що проблема визначення точності визначення координат пунктів, довжин векторів в геодезичних мережах є досить складною та залежить від параметрів методики супутникових спостережень, впливу середовища, а також конфігурації мережі, наприклад, геометричних фігур, з яких вона була побудована, точності, розташування пунктів, до яких прив'язана мережа тощо. У ході її вирішення будуть виникати нові та додаткові питання, які вимагають глибокого вивчення та аналізу.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПУНКТИВ GPS–СПОСТЕРЕЖЕНЬ

3.1. Розрахунок координат пунктів GPS–спостережень класичним методом

Маємо вихідні дані початкових (наближених) координат пункту GPS-спостережень, що подано у табл. 3.1, де поправка годинника GPS приймача становить $-0,00000006043$, $c = 299792458,00$.

Таблиця 3.1 – Наближені значення координати пункту GPS-приймача

X_o	3756736,10
Y_o	1696779,20
Z_o	4851495,30
T_o	$-0,00000006043$
c	299792458,00

Вихідні дані ефемериди ШСЗ та виміряні псевдо відстані у метрах наведено у табл. 3.2. Положення ШСЗ на орбіті характеризують її шість елементів, що разом із каталогом координат дозволяють визначити положення ШСЗ на орбіті у будь-який момент часу, що в системі становить його ефемериду [23].

Таблиця 3.2 – Вихідні дані положення досліджуваного GPS-приймача

№ ШСЗ	x_i	y_i	z_i	p_i
1	21165422,4	-2317017,2	16040787	21080323,5
12	3030897	22043977,7	15085819	22787709,4
13	-10097627,8	6486215,9	23764860,8	23929071,4
20	16308696,7	5433810,3	20101613,9	20101998,8
24	-5860112	23267694,6	11669171,7	24581884,8
25	12057792,2	-14347893,3	18830556,4	22842045,9

Згідно до методики розрахунку координат пунктів при виконанні GPS спостережень виконуємо обчислення коефіцієнтів, а також вільних членів у системі рівнянь поправок положення GPS-приймача (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Алгоритм обчислення системи рівнянь поправок положення GPS-приймача

№	a (ΔX)	b (ΔY)	c (ΔZ)	d (ΔT)	l	S	v	v ²	P _{обч}
	99,89996799	0,723323716	150,3921175	-18,73080879					
1	-0,825826335	0,190404877	-0,530793168	1	181,063	180,8962974	0,142295	0,020247754	21080142
2	0,031852219	-0,892902316	-0,449115948	1	83,698	83,38790077	-0,04006	0,001604976	22787625,7
3	0,578976245	-0,200151382	-0,79039279	1	79,978	80,56597457	0,072822	0,005303110	23928991,4
4	-0,624413558	-0,185903459	-0,758636927	1	195,266	194,6972064	-0,07103	0,005044585	20101803,5
5	0,391216873	-0,877512671	-0,277345552	1	21,986	22,22259619	-0,00733	0,000053710	24581862,8
6	-0,363411235	0,702418363	-0,611988136	1	146,469	147,1960134	-0,0967	0,009351075	22841899,4

Далі з метою розрахунку координат пунктів при виконанні GPS спостережень переходимо до обрахування коефіцієнтів та вільних членів системи нормальних рівнянь визначення положення GPS-приймача (табл. 3.4 та 3.5).

Таблиця 3.4 – Алгоритм обчислення коефіцієнтів та вільних членів системи нормальних рівнянь визначення положення GPS-приймача

	a]	b]	c]	d]	l]	S]	Контроль
[a	1,69322785	-0,784049024	0,554023276	-0,811605792	-267,109	-266,4574571	-266,457
[b		2,17156928	0,41268503	-1,263646587	-8,97797	-8,441414556	-8,44141
[c			2,135147305	-3,418272521	-440,782	-441,0981628	-441,098
[d				6	708,460	708,9659887	708,966

Таблиця 3.5 – Алгоритм обчислення системи нормальних рівнянь для розрахунку положення GPS-приймача

	a]	b]	c]	d]	l]	S]	Контроль
I	1,69322785	-0,784049024	0,554023276	-0,811605792	-267,109	-266,4574571	-266,457
E1	-1	0,463049922	-0,327199482	0,479324618	157,7514	157,3665688	
I'		2,17156928	0,41268503	-1,263646587	-8,97797	-8,441414556	-8,44141
I*E1		-0,36305384	0,256540435	-0,375813999	-123,685	-123,3831048	
I''		1,808515441	0,669225465	-1,639460586	-132,663	-131,8245193	
E2		-1	-0,370041333	0,906522858	73,35453	72,89101125	
II			2,135147305	-3,418272521	-440,782	-441,0981628	-441,098
I*E1			-0,181276129	0,265556995	87,39794	87,18474203	
I''*E2			-0,247641083	0,606668181	49,09072	48,78052089	
II'			1,706230093	-2,546047345	-304,293	-305,1328999	
E3			-1	1,49220633	178,3423	178,8345553	
IV				6	708,4595	708,9659887	708,966
I*E1				-0,389022636	-128,032	-127,7196187	

	a]	b]	c]	d]	l]	S]	Контроль
I'*E2				-1,486208496	-120,262	-119,50194	
II'*E3				-3,799227964	-454,068	-455,3212447	
IV'				0,325540904	6,097644	6,423185338	
E4				-1	-18,7308	-19,73080879	
Δt				-18,73080879	-18,7308		
ΔZ			150,3921175	-27,95023145	178,3423		
ΔY		0,723323716	-55,65129969	-16,97990632	73,35453		
ΔX	99,89996799	0,334934991	-49,20822301	-8,978137762	157,7514		

При обчисленні контролю під час розв'язку системи нормальних рівнянь обчислені нами поправки Δx , Δy , Δz і Δt при підставленні у систему нормальних рівнянь будуть мати нулі.

У результаті обчислень ми одержимо остаточні значення розрахунку координат пунктів GPS спостережень, що наведено у табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Результати розрахунку координат пункту положення GPS-приймача

ΔT	0,00
X°	3756836,00
Y°	1696779,92
Z°	4851645,69

3.2. Розрахунок координат пунктів GPS–спостережень методом побудови математичної моделі

Вихідні дані початкових (наближених) координат пункту GPS-спостережень та поправка годинника GPS приймача при розрахунку координат пунктів GPS–спостережень методом побудови математичної моделі є тими самими, що подано у табл. 3.1. Інформація про вихідні дані ефемериди ШСЗ та вимірянні псевдо відстані у метрах також наведено у табл. 3.2.

Для побудови матриці стану A обчислюємо коефіцієнти та вільні члени нормальних рівнянь поправок за методикою, описаною в розділі 2 (табл. 3.7).

Таблиця 3.7 – Результати обчислення коефіцієнтів та вільних членів системи рівнянь поправок положення GPS-приймача

№	a (ΔX)	b (ΔY)	c (ΔZ)	d (ΔT)	l	S
1	-0,825826335	0,190404877	-0,530793168	1	181,063	180,8962974
2	0,031852219	-0,892902316	-0,449115948	1	83,698	83,38790077
3	0,578976245	-0,200151382	-0,79039279	1	79,978	80,56597457
4	-0,624413558	-0,185903459	-0,758636927	1	195,266	194,6972064
5	0,391216873	-0,877512671	-0,277345552	1	21,986	22,22259619
6	-0,363411235	0,702418363	-0,611988136	1	146,469	147,1960134

Подальші розрахунки будемо виконувати у матричній формі:

-0,825826335	0,190404877	-0,530793168	1
0,031852219	-0,892902316	-0,449115948	1
0,578976245	-0,200151382	-0,79039279	1
-0,624413558	-0,185903459	-0,758636927	1
0,391216873	-0,877512671	-0,277345552	1
-0,363411235	0,702418363	-0,611988136	1

та складаємо вектор вільних членів для побудованої нами матриці:

181,063
83,698
79,978
195,266
21,986
146,469

Обернена матриця стану A^{-1} набуде вигляду у результаті розрахунку у MS Excel (рис. 3.1), обчислену за допомогою функції МОБР [13]:

533,6098726	2742,4799	293,1635	-1800,78	-2097,1	328,6294003
271,456562	3947,14477	165,787	-2269,25	-2893,02	777,8731143
668,4361428	2131,03573	355,9367	-1564,38	-1692,17	101,145292
220,3775453	4185,24483	140,3772	-2362,27	-3048,99	866,2532798
272,1468306	3944,98477	166,0923	-2267,88	-2891,37	776,0225539
-269,4986911	-3957,1381	-164,813	2272,604	2899,394	-780,548081

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
20															
21	A=	-0,825826335	0,190405	-0,5308	1	181,063	180,8963	L=	181,063						
22		0,031852219	-0,892902	-0,4491	1	83,698	83,387901		83,698						
23		0,578976245	-0,200151	-0,7904	1	79,978	80,565975		79,978						
24		-0,624413558	-0,185903	-0,7586	1	195,266	194,69721		195,266						
25		0,391216873	-0,877513	-0,2773	1	21,986	22,222596		21,986						
26		-0,363411235	0,702418	-0,612	1	146,469	147,19601		146,469						
27															
28	A-1=	533,6098726	2742,48	293,164	-1800,8	-2097,1	328,6294		1,22E-08						
29		271,456562	3947,145	165,787	-2269,2	-2893	777,87311		-1,11E-08						
30		668,4361428	2131,036	355,937	-1564,4	-1692,2	101,14529		4,04E-09						
31		220,3775453	4185,245	140,377	-2362,3	-3049	866,25328		3,49E-10						
32		272,1468306	3944,985	166,092	-2267,9	-2891,4	776,02255		1,00E+00						
33		-269,4986911	-3957,138	-164,81	2272,6	2899,39	-780,54808		7,28E-11						
34															
35		21165422,3													
36															
37															
38															
39															

Рисунок 3.1. – Приклад розрахунку оберненої матриці A^{-1} у MS Excel.

Таким чином, на основі проведених нами розрахунків математичної моделі оберненої матриці системи рівнянь поправок Δx , Δy , Δz і Δt мають нулі, що дозволяє одержати нам такі ж самі результати, що й при класичному способі обчислень, які становлять $X^{\circ} = 3756836,00$; $Y^{\circ} = 1696779,92$; $Z^{\circ} = 4851645,69$.

3.3. Оцінка точності розрахунку координат пункту GPS спостережень

Досліджено, що основними факторами, які впливають на точність визначення координат точок при проведенні GPS спостережень, а також причинами виникнення похибок є:

- кількість ШСЗ, які спостерігає GPS приймач під час виконання зйомки;
- геометрія ШСЗ;
- тривалість виконання самого спостереження;

- співвідношення сигнал/шум SNR;
- вплив іоносфери [21].

В основному усі вище фактори враховують, але повністю їх усунути не можливо. Тому оцінка точності відбувається у програмних продуктах при опрацюванні відстаней між базовими лініями, їх зрівню важуванні та калібруванні. При цьому інформацію про точність визначення відстаней базових ліній, а також їх точок можна переглянути, адже при не достатній точності для користувача з'явиться відповідне повідомлення.

Передбачено, що оцінку точності можна провести у ручному режимі. Для цього потрібно з метою досягнення необхідної точності при вимірюванні GPS спостережень застосовувати метод подальшої обробки даних при рекомендованій тривалості спостережень, максимально допустимому значенні PDOP і SNR, місцем встановлення базового та роверного GPS приймачів.

На кодові та фазові псевдо віддалі впливають, як систематичні похибки, так і випадковий шум, що є спричиненим апаратурою та середовищем, через яке проходить сигнал. Таким чином, доплерівські виміри враховують лише вплив швидкостей зміни систематичних зсувів. Тому, окрім зміщення годинників ШСЗ і GPS приймачів, всі інші джерела похибок класифікують у три групи. Крім них доцільно відмітити також вплив релятивістських ефектів на проходження GPS сигналу [23].

З проведених розрахунків одержано, що середня квадратична похибка одиниці ваги $\mu = 0,144231083$ та ілюструє відповідну точність визначення координати внаслідок проведеного GPS знімання (табл. 3.8)

Таблиця 3.8 – Результати розрахунку середньої квадратичної похибки одиниці ваги координат пункту GPS спостереження

μ	0,144231083
$1/P_t$	3,071810598
$1/P_z$	3,657898022
$1/P_y$	7,16941694
$1/P_x$	0,98552

Середню квадратичну похибку одиниці ваги координат пункту GPS спостереження для зрівноваженої функції побудовано за допомогою математичної моделі через середні квадратичні похибки за процедурою способу найменших квадратів, що отримано на основі розрахунку обернених ваг (табл. 3.8).

Згідно до методики розрахунку, якщо знаходиться обернена вага для зрівноваженої функції, то в подвоєних добутках обернених ваг $1/P_{ij}$ на факторні ознаки необхідно буде змінювати знаки на протилежні в тому випадку, якщо сума $i+j$ для відповідних індексів в обернених вагах буде не парним числом. Тоді потрібно враховувати лише знаки при переході від мінорів до алгебраїчних доповнень [13].

Далі ми знайдемо середні квадратичні похибки для встановлених нами коефіцієнтів для моделі Δx , Δy , Δz , Δt , що є поправками в координати наземного пункту для спостереження GPS. Відповідні розрахунки наведено у табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Результати розрахунку коефіцієнтів для моделі розрахунку середньої квадратичної похибки одиниці ваги координат пункту GPS спостереження

m_x	0,143182835
m_y	0,386189786
m_z	0,275851062
m_t	0,252787783

Таким чином, на основі проведених розрахунків, нами встановлено середні квадратичні похибки математичної моделі для пункту GPS спостережень з координатами $X^\circ = 3756836,00$; $Y^\circ = 1696779,92$; $Z^\circ = 4851645,69$.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАСЕЛЕННЯ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Першим етапом будь-якого топографо-геодезичного виробництва є польові землепорядні розвідки, які складаються з таких етапів і видів робіт:

- підготовчі організаційно-технічні роботи;
- навантажувально-розвантажувальні та транспортні роботи;
- рекогносцирування геодезичних пунктів;
- закладання центрів, марок, реперів, побудова нових і знесення непридатних геознаків;
- спостереження на пунктах триангуляції та робота зі світло- та радіодалекомірами, електронними тахеометрами SET-500, SET-5W, GTS-220 та іншими приладами;
- встановлення віх та щогл, зйомка підземних інженерно-технічних комунікацій та ін.

Польові топографо-геодезичні роботи відрізняються від інших такими специфічними особливостями:

- працівники землепорядних партій знаходяться в експедиції впродовж усього польового сезону і через це їх праця і побут невіддільні;
- у процесі польових розвідок на працівників можуть шкідливо впливати численні травмонебезпечні фактори (рухомі машини та обладнання, падаючі конструкції і деталі, загострені кромки і краї заготовок та інструментів, електрострум, горючі та вибухові речовини, хвороботворні мікроорганізми, отруйні комахи і змії та багато іншого);
- роботи часто виконуються у складних кліматичних і топологічних умовах (спека, холод, гори, яри, ліси, ріки, авто-і залізничні магістралі).

Усі види польових топографо-геодезичних робіт мають проводитися в суворій відповідності до вимог з техніки безпеки, що містяться в технічних інструкціях і технічних проектах.

Польові топографо-геодезичні роботи у важкодоступних районах у

зимовий час можуть проводитися тільки з дозволу керівництва підприємства при забезпеченні відповідних безпечних умов праці.

Проведення робіт на відкритому повітрі при температурі нижче -25°C , на верху геодезичних знаків і різних монтажних конструкцій при температурі нижче -1°C допускається тільки за особливим регламентом праці, установленим адміністрацією і профкомом підприємства.

Перед початком польових топографо-геодезичних робіт на об'єкті керівники експедицій, польових партій і бригад повинні інформувати про це місцеві органи влади, а при виконанні робіт на об'єктах автомобільних і залізничних доріг, трубопроводів, об'єктах спеціального призначення і інших, крім того, організації та підприємства, у підпорядкуванні яких знаходяться ці об'єкти. При проведенні робіт у лісових районах керівники топографо-геодезичних підрозділів зобов'язані повідомити місцеві лісгоспи, передати їм в установленому порядку схеми маршрутів пересування бригад із зазначенням засобів пересування, запланованих термінів проведення робіт на маршрутах і розташування місць базування бригад і партій, а також уточнити найбільш вогнебезпечні зони на ділянці робіт, наявність струмків, водоймищ, боліт, великих полян і т. д., де можна сховатися на випадок пожежі, визначити порядок поведінки, дій у зв'язку з аварійними ситуаціями.

Керівники експедицій і польових бригад у пожежонебезпечний період повинні встановити ділові контакти з лісгоспами з метою отримання від них оперативної інформації про вогнища пожеж.

За наявності в районі робіт пожежонебезпечної ситуації необхідно переглянути проект організації польових робіт, конкретизувати місця знаходження бригад і маршрути їх руху, сповістити всіх працівників про можливі небезпеки і затвердження відповідних заходів на випадок пожежі. У період лісових пожеж, що загрожують життю людей, заборонити проведення польових робіт і забезпечити термінову евакуацію бригад із пожежонебезпечних зон до безпечних місць.

При підготовці до польових робіт необхідно надати особливу увагу

засвоєнню правил безпечного проведення робіт у пожежонебезпечних районах, а також поведінки персоналу при гасінні лісових пожеж в екстремальних умовах.

З метою оперативного керівництва польові партії і бригади, що виконують топографо-геодезичні роботи в лісових, гірських районах, на водних акваторіях, в інших важкодоступних місцевостях, а також в обжитих районах поза населеними пунктами на відстані 5 км і більше від пунктів державного телефонного зв'язку, повинні забезпечуватися радіостанціями певної потужності, або мобільним телефонним зв'язком для встановлення надійного двостороннього зв'язку з базою експедиції та між собою.

Для врегулювання трудових взаємовідносин між працівниками і керівниками польових партій та експедицій на польовий сезон повинні встановлюватися тимчасові правила внутрішнього трудового розпорядку баз, партій та експедицій. Правила внутрішнього трудового розпорядку затверджуються керівництвом експедиції за погодженням з профспілковим комітетом.

Для уникнення зайвих водних переправ учасники робіт і виконавці (бригади і партії) повинні проходити переважно за напрямком річок і меж різних водоймищ.

При підготовці до польових робіт необхідно передбачити розробку оптимальних маршрутів пересування бригад по ділянці (з урахуванням усіх відомостей про наявність доріг, мостів, поромних переправ, пристаней, лісоділянок, лісових кордонів, хатинок і т.д.), використовуючи матеріали аерофотозйомок, відомості лісгоспів, інших організацій і місцевих рад. Перед виїздом на польові роботи з бази партії начальник партії разом із соціальним інспектором з охорони праці зобов'язані перевірити забезпеченість їх спорядженням, продовольством, засобами індивідуального і колективного захисту, засобами зв'язку і подачі сигналів, дати всі необхідні вказівки керівникам бригад і встановити контрольні бази та місця зустрічі [15].

5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

На виконання вимог Закону України Про охорону навколишнього природного середовища», підприємства, установи та організації погоджують з органами місцевого самоврядування поточні та перспективні плани роботи з питань охорони навколишнього природного середовища і використання природних ресурсів.

До головних завдань в організації природоохоронної діяльності підприємств відноситься:

- аналіз кількісних і якісних показників діяльності підприємства, які здійснюють вплив на довкілля, ефективності запровадження заходів з охорони довкілля і раціонального використання природних ресурсів за відповідний період;

- розробка перспективних та поточних заходів природоохоронної діяльності з обґрунтуванням потреби щодо обсягів їх фінансування, визначення термінів виконання.

Природоохоронні заходи, що запроваджуються підприємством, повинні повністю компенсувати шкідливий вплив виробництва на навколишнє природне середовище і відповідати за напрямками постанові Кабінету міністрів України від 17 вересня 1996 року № 1147 (зі змінами) «Про затвердження переліку видів діяльності, що належать до природоохоронних заходів».

План підприємств з питань охорони навколишнього природного середовища і раціонального використання природних ресурсів складається з таких розділів:

- охорона і раціональне використання водних ресурсів;
- охорона повітряного басейну;
- охорона і раціональне використання земель;
- охорона і раціональне використання мінеральних ресурсів;
- організаційно-просвітницькі заходи.

У розділі «Охорона і раціональне використання водних ресурсів»,

передбачається комплекс заходів, що забезпечує скорочення витрат питної води, припинення скидів неочищених стоків в поверхневі водні об'єкти, недопущення в скидах стічних вод перевищення нормативних показників забруднюючих речовин. Реалізація забезпечується розробкою заходів по вдосконаленню технологічних процесів виробництва та обладнання, будівництва споруд для очищення стічних вод, створення оборотних систем виробничого водопостачання, впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій тощо. Крім того, у цьому розділі визначаються обсяги водоспоживання, водовідведення та скидів стічних вод всіх категорій, що використовуються підприємством.

Розділ «Охорона повітряного басейну», містить природоохоронні заходи, спрямовані на зниження обсягів шкідливих речовин, що викидаються в атмосферне повітря стаціонарними джерелами забруднення на підприємстві та забезпечення дотримання нормативів гранично допустимих концентрацій викидів в санітарно-захисній зоні підприємства.

Показники даного розділу зазначаються окремо для кожного джерела забруднення з подальшим визначенням зведених даних по підприємству.

У розділі «Охорона і раціональне використання земель», відображаються напрями використання земельних ділянок, які знаходяться у користуванні підприємства під час здійснення господарської діяльності і включають заходи по створенню захисних зелених зон, будівництву та реконструкції протиерозійних, гідротехнічних, протикарстових споруд та інших. Передбачається розробка заходів, спрямованих на попередження (ліквідацію) забруднення ґрунтів відходами виробництва, проведення своєчасної рекультивації порушених земель та використання родючого шару ґрунту.

До показника, що характеризує площі порушених земель, відносять землі порушені під час добування корисних копалин, що перебувають під будівельними й іншими роботами, пов'язаними з порушенням ґрунтового покриву, гідрологічного режиму, зайняті під териконами, смітниками і т.п.

Дані про використання земель відображаються в плані у зведеному вигляді

за виключенням земель, що рекультивовані і передані землекористувачам для використання.

У розділі «Охорона і раціональне використання мінеральних ресурсів» згруповані заходи з удосконалення методів розробки родовищ корисних копалин і покращення використання сировини, що добувається. Цей розділ планується для запровадження на підприємствах добувних галузей промисловості.

Розділ «Організаційно-просвітницькі заходи» містить заходи, спрямовані на підвищення кваліфікації фахівців з охорони навколишнього природного середовища, рівня обізнаності працівників підприємств, установ, організацій з вимогами природоохоронного законодавства України, зокрема в сфері поводження з відходами, збереження ресурсів питної води, забезпечення належного санітарного стану територій населених пунктів.

Всі заходи з охорони природного середовища зводяться в єдиний документ, в якому вказується мета роботи, місце впровадження, головний виконавець і співвиконавці, строки виконання робіт, кошторисна вартість, планові затрати, очікуваний результат ефективності їх впровадження [10].

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі розкрито теоретичні положення і практичні розрахунки щодо оцінки точності та актуалізації параметрів супутникових спостережень за допомогою методу псевдо відстаней при створенні геодезичних мереж.

Встановлено та проаналізовано основні джерела помилок при виконанні GPS спостережень, що впливають на результати вимірювань, причини, а також можливості їх усунення, зменшення їхнього впливу на результати GPS спостережень за допомогою використання супутникових технологій. З'ясовано не обхідність подальших досліджень у питанні встановлення залежності точності щодо визначення довжини векторів від відстані між GPS приймачами, а також тривалості дії їх спостережень.

При визначенні положення GPS приймача за допомогою методу псевдо відстаней було складено систему рівнянь для встановлення значення координати на пункті спостереження, що отримано від більш ніж 4-ох супутників в різні моменти часу упродовж певного інтервалу дослідження. Для вирішення цієї системи рівнянь використано ітеративний метод зваження найменших квадратів, за допомогою якого здійснено пошук рішення, що найбільше задовольнятиме визначені псевдо відстані.

Таким чином було знайдено середні квадратичні похибки для зрівноважених псевдо відстаней з 4-ох конкретних ШСЗ за їхніми середніми квадратичними похибками, а також визначеними коефіцієнтами за допомогою методу визначників. Проведені розрахунки дають можливість значно покращити статистичні характеристики моделі визначення координат, одержаних внаслідок проведення GPS спостережень без необхідності повторних польових спостережень ШСЗ

У дослідженні відображено методику побудови елементів моделі визначення кординат, одержаних при проведенні GPS спостережень, що звужує діапазон абсолютних похибок при значному покращенні статистичних

характеристик побудованої моделі.

Результати дослідження виконано за допомогою MS Excel, що дозволяє зробити порівняльний аналіз істинних похибок математичної моделі і абсолютних похибок, отриманих із зрівноваження значення координат за допомогою класичного методу.

На основі проведених розрахунків обчислено, що середня квадратична похибка одиниці ваги $\mu = 0,144231083$ та ілюструє відповідну точність проведеного GPS знімання для пункту спостережень з координатами $X^\circ = 3756836,00$; $Y^\circ = 1696779,92$; $Z^\circ = 4851645,69$.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 2. Монография. 2005. 359 с.
2. Баран П. І., Чернокін В. Я. Визначення тривалості GPS-спостережень в геодезичних мережах. Вісник геодезії та картографії: наук. техн. журнал. 2004. №2. С. 12-15.
3. Баран П.І. Визначення тривалості GPS-спостережень в геодезичних мережах. Вісник геодезії та картографії. 2004. №2. С. 12-15.
4. Гофманн-Веленгоф Б. Глобальна система визначення місцеположення (GPS): теорія і практика. Київ, 1995. 380 с.
5. Гофманн-Веленгоф Б. Глобальна система місцеположення (GPS): Теорія і практика. Київ, 1996. 392 с.
6. Гофманн-Веленгоф Б. Навігація. Основи визначення місцеположення та скеровування. Львів, 2006. 449 с.
7. Заблоцька О., Третяк К. Дослідження ефективності геометричної конфігурації космічних сегментів. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництв. 2000. Вип. 60. С. 67-70.
8. Задемленюк А. В. Дослідження впливу похибок на супутникові вимірювання в RTK-режимі. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2010. Вип. 73. С. 25-33.
9. Інструкція про побудову державної геодезичної мережі з використанням супутникових радіонавігаційних систем. Міністерство екології та природних ресурсів України, 2002. 56 с.
10. Комплексні плани з охорони навколишнього природного середовища. URL: <https://economu.rv.ua>
11. Костецька Я., Пішко Ю. До питання точності довжин векторів, отриманих за результатами відносних GPS-спостережень двочастотними приймачами. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2009. Вип. .1 (17) С. 92-97.

12. Костецька Я., Торопа О., Фок О. До питання тривалості GPS-спостережень залежно від довжини вектора-бази. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2005. Вип. II. С. 60-65.
13. Літнарівич Р.М. Конструювання і дослідження математичних моделей. Модель пункту GPS спостережень. Частина 6. Рівне, 2009. 104 с.
14. Передумови діяльності CDDIS. URL: <https://cddis.nasa.gov/About/Background.html>
15. Пістун І. П., Березовецький А. П., Ковальчук Ю. О. Охорона праці в галузі сільського господарства (землевпорядкування, геодезія): навч. посібник. Львів, 2006. 384с.
16. Пішко Ю. Уточнення формул середніх квадратичних помилок довжин векторів, визначених за результатами спостережень GPS-приймачами. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. 2012. Вип. 1 (23). С. 87-90.
17. Про архів даних та продуктів CDDIS GNSS. URL: https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/GNSS_data_and_product_archive.html
18. Продукти GNSS Orbit. URL: https://cddis.nasa.gov/Data_and_Derived_Products/GNSS/orbit_products.html
19. Савчук С., Каблак Н., Калинич І., Проданець І. До питання точності GPS-спостережень. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2007. Вип. 68. С. 105-108.
20. Савчук С.Г. Проблемні питання під час використання сучасних супутникових технологій визначення координат. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2007. Вип. 69. С. 20-33.
21. Торопа І.М., Пішко Ю.Р. До питання тривалості GPS спостережень в залежності від довжин векторів. Геодезія, архітектура та будівництво: матеріали ІV міжнародної конференції молодих вчених ГАС-2011. (м. Львів, 24-26 листопада 2011 р.). Львів, 2011. С. 184-185.
22. Третяк К.Р., Шушкова Т.М. До питання тривалості GPS-вимірів при

побудові державних мереж 1- го та 2-го класу. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2001. Вип. 61. С. 124-132.

23. Черняга П. Г., Бялик І. М., Янчук Р. М. Супутникова геодезія. Інтерактивний комплекс навчально-методичного забезпечення. Рівне: НУВГП, 2009. 158 с.

24. Courses Online: Modern Surveying Techniques. Lecture. URL: <http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/ITKANPUR/ModernSurveyingTech/ui/TOC1.htm>.

25. Hofmann-Wellenhof B. GNSS – Global Navigation Satellite System. New York, 2008. 343 p.

26. Kaplan E. D. Understanding GPS. Principles and Applications. London, 2006. 665 p.

27. Soler T. Accuracy of OPUS solutions for 1- to 4-h observing sessions. GPS Solutions. 2006. Vol. 10, № 1. P. 45-55.