

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Інститут архітектури, будівництва та ДонНАБА

Кафедра геодезії та землеустрою

Максимів Олександр Анатолійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 528.48
(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА
**« Дослідження стійкості до переривання GNSS сигналу під кронами дерев у
різних лісових умовах »**
(назва роботи)

193 Геодезія та землеустрій
(шифр і назва спеціальності)

О.А. Максимів, студент групи ГЗ-21-1
(підпис, ініціали та прізвище здобувача освітнього ступеня)

Науковий керівник: ст. викладач Андрій Матіщук
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри проф. Микола ПРИХОДЬКО
(посада) (підпис) (дата) (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент
(посада) (підпис) (дата) (ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

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

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут архітектури та будівництва 'ІФНТУНГ-ДонНАБА'

Кафедра геодезії та землеустрою

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 193 Геодезія та землеустрій

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри геодезії та землеустрою

проф. Микола ПРИХОДЬКО

" ____ " _____ р.

**ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТА**

Максиміву Олександрю Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: « Дослідження стійкості до переривання GNSS сигналу під кронами дерев у різних лісових умовах »

керівник роботи: ст. викладач Андрій Матишук

(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

затверджена наказом вищого навчального закладу від _____

2. Строк подання студентом роботи _____ року

3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Методологія спостережень

2. Збір даних

3. Опрацювання результатів спостережень

5. Перелік графічного матеріалу:

6. Дата видачі завдання: _____

7. Календарний план

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Методологія спостережень		
2	Збір даних		
3	Опрацювання результатів спостережень		
4	Оформлення бакалаврської роботи		

Студент

_____ ***Максимів О.А.***
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ ***Матішук А.В.***

Анотація

У рамках нашого бакалаврського дослідження ми провели аналіз функціонування глобальної системи позиціонування (GPS) в чотирьох різних типах лісових масивів.

Нашою метою було вивчити взаємозв'язок між ймовірністю перешкод сигналу (SIP), показником розкриття купола, тривалістю спостережень, кількістю доступних супутників та їх впливом на погіршення точності позиціонування (PDOP).

Результати продемонстрували, що найбільший вплив на ймовірність перешкод сигналу мають похибки визначення положення у горизонтальній та вертикальній площинах.

Це відрізняється від даних попередніх досліджень, де вирішальну роль відігравали інші параметри, наприклад, PDOP та індекс видимості супутників.

Задовільну точність визначення координат було досягнуто для тривалості спостереження до 15 хвилин, що залежало від величини ймовірності перешкод сигналу.

Подальше вивчення таких чинників, як ймовірність інтерференції, структура купола дерев та поведінка сигналів, може сприяти глибшому розумінню точності GPS-навігації в лісовій галузі.

Це критично важливо для ефективного моніторингу та раціонального управління лісовими ресурсами.

Abstract

As part of our undergraduate research, we analyzed the performance of the Global Positioning System (GPS) in four different types of forest.

Our goal was to study the relationship between the probability of signal interference (SIP), the dome opening index, the duration of observations, the number of available satellites, and their impact on the degradation of positioning accuracy (PDOP).

The results showed that the greatest impact on the probability of signal interference is caused by the errors of determining the position in the horizontal and vertical planes.

This is different from the data of previous studies, where other parameters, such as PDOP and the satellite visibility index, played a decisive role.

Satisfactory accuracy of coordinate determination was achieved for observation durations of up to 15 minutes, which depended on the magnitude of the probability of signal interference.

Further study of factors such as interference probability, tree canopy structure, and signal behavior can contribute to a deeper understanding of the accuracy of GPS navigation in the forestry sector.

This is critical for effective monitoring and rational management of forest resources.

Зміст

Вступ

1. Методологія спостережень

2. Збір даних

3. Опрацювання результатів спостережень

3.1 Вірогідність зникнення сигналу

3.2 Середня похибка спостереження

3.3 Кореляція між помилкою визначення місця розташування та імовірністю втрати сигналу

Висновок

Список використаних джерел

Вступ

У лісовому господарстві GPS почали застосовувати на початкових стадіях розвитку цієї галузі, і вона перетворилася на ключовий інструмент для розвитку точного лісівництва.

Головні плюси застосування GPS у лісовому господарстві полягають у дистанційному доступі до зон зйомок, пришвидшенні та підвищенні точності топографічних і лісовпорядних зйомок, формуванні маршрутів, проектуванні лісових доріг та ефективній навігації персоналу і машин.

Разом з тим, ключовим недоліком виступає той факт, що система, розроблена для використання на відкритих територіях з мінімальною кількістю перепон, стикається з серйозними викликами у лісовій місцевості, зокрема, з шаром дерев, який призводить до похибок при отриманні сигналу.

З'ясувалося, що звуження розміру ділянки під деревною кроною та подовження періоду спостереження призводять до зниження похибки.

Також було виявлено, що навіть незначне збільшення щільності крон значно погіршує точність визначення координат.

Для кількісної оцінки впливу перелічених чинників нерідко застосовують індекс відкритості верхньої частини крон дерев.

Цей індекс розраховується на основі аналізу фотографій верхньої частини дерев, щоб визначити відсоток відкритого неба.

Ще одним ключовим аспектом є погіршення точності позиціонування (PDOP).

Цей показник визначає взаємне розташування супутників у момент зйомки та безпосередньо впливає на надійність GPS-даних.

Зменшити ймовірні помилки в навігації можна, знизивши значення PDOP, зокрема, збільшивши тривалість спостережень.

У минулому для стабілізації прийому сигналу пропонувались різноманітні підходи: збільшення висоти антени, перехід від точного позиціонування до транслокації, а також збільшення часу збору даних.

Згодом створили регресійні моделі, що враховують тривалість спостережень за куполом, а також показник його відкритості з отриманих світлин.

Окремі науковці також пропонують визначати ймовірність інтерференції сигналу як індикатор, що відображає розрив сигналу GPS в умовах лісу, зокрема інтерференцію від намету.

Ймовірність інтерференції сигналу виступає більш практичним засобом оцінки перешкод, бо не потребує фотографування й може бути обчислена під час постобробки.

У цій бакалаврській праці ми проводимо зіставний аналіз таких параметрів як: вірогідність блокування сигналу, показник чіткості (індекс), PDOP (тобто геометричний фактор погіршення точності) та кількості супутників, що знаходяться у зоні видимості.

Ми розглядаємо їх як ключові детермінанти точності визначення місцезнаходження в умовах лісу.

Для досягнення мети дослідження ми використовуємо дані вимірювань фази коду, що модулює несучу частоту, та методи постобробки фази диференціального коду GPS.

На основі цих даних ми оцінюємо похибки позиціонування в горизонтальній і вертикальній площинах.

Ми концентруємося на дослідженні нестационарних рішень, що набувають особливої ваги в лісових умовах.

На нашу думку, ймовірність перехоплення сигналу є переконливим інструментом для оцінки точності визначення координат у лісах, оскільки вона дає змогу краще, ніж інші показники, прогнозувати вплив перешкод, спричинених лісовим наметом.

1. Методологія спостережень

Полеві дослідження здійснювалися на ретельно відібраній території, щоб створити оптимальне середовище для здійснення різноманітних спостережень та отримання високоточних даних.

Основною задачею було вивчення усіх потенційних умов, які можуть впливати на точність визначення місцезнаходження за допомогою GPS у лісовій зоні.

Для забезпечення максимальної точності та різноманітності зібраної інформації, було обрано чотири пункти спостереження, позначені як P1, P2, P3 та P4.

Кожна точка моніторингу розташовувалась з урахуванням місцевих особливостей рельєфу.

Враховувались такі фактори, як густина лісів, кут нахилу схилів та відкритість неба.

Це дозволяло оцінити, як впливають різні умови на точність даних GPS.

На кожній станції проводились вимірювання GPS параметрів.

Оцінювались такі показники: вірогідність переривання сигналу, індекс відкритості горизонту, кількість супутників, що перебували у зоні видимості, та показник PDOP.

Враховано було кожен з наведених факторів задля дослідження впливу лісових зон на роботу системи визначення координат.

Повні дані про географічне розташування, зовнішні умови та технічні параметри устаткування кожної точки спостереження містяться у таблиці 1.

Це дозволяє визначити, які особливості кожної точки вимірювань впливають на результати збору інформації та які варіанти спостережень забезпечують найточніші дані.

Таблиця 1 - Деталі точок спостереження.

Точки спостереження	Характеристика точок	Перешкоди для спостереження	Середній індекс видимості неба
P1	Лісова дорога	Немає	80%
P2	Хвойні дерева	Закрите небо	22%
P3	Листяні дерева	Закрите небо	29%
P4	Змішаний ліс	Закрите небо	19%

Кожна з точок, які було обрано, відрізнялася власними особливостями, що впливали на точність і стабільність визначення положення за допомогою GPS.

Мета відбору цих місць полягала у відтворенні типових ситуацій, з якими можуть зіткнутися фахівці у лісовій місцевості, котрі змушені використовувати GPS-технології в складних природних обставинах.

Точка P1, розташоване безпосередньо на лісовій дорозі, було оптимальним варіантом для отримання безперешкодного сигналу від супутників.

Це було обумовлено як мінімальною відстанню до навколишніх дерев, так і наявністю відкритого простору над дорогою, що забезпечувало відмінний «огляд неба».

Ці обставини звели до мінімуму неточності, спричинені природними бар'єрами, скажімо, деревами.

Проте, як було зазначено раніше, місцезнаходження майданчика на найвищій точці місцевості зумовило його вразливість до негативних кліматичних факторів, включаючи снігопади та пориви вітру, які потенційно могли впливати на чіткість сигналу з супутника.

За таких обставин можливе значне збільшення похибок під час виникнення складних атмосферних подій, а кінцеві результати

спостережень ставали надзвичайно залежними від постійно мінливої погоди.

Точка Р2, що знаходиться в ареалі з переважанням хвойних дерев, продемонструвала значний вплив високого лісового покриву на роботу GPS-навігації.

Дерева, густо зібрані й високі, закривали велику частину небосхилу, що ускладнювало безперербійне отримання сигналів від супутників.

Втім, такий лісовий масив має позитивний бік: він виконує роль природного бар'єру, захищаючи від несприятливих погодних умов, таких як поривчастий вітер або інтенсивні опади.

Разом з тим, щільний хвойний ліс може викликати ефект багатопроменевості сигналу, значно підвищуючи ймовірність помилок у визначенні координат.

Точка Р3 знаходиться в районі, де переважають листяні дерева, зокрема, бук та ясен.

На відміну від хвойних порід, листяні дерева демонструють відмінні риси.

В залежності від сезону структура та густота дерев істотно змінюються: влітку крони вкриті листям, а взимку стають більш прозорими для радіосигналів.

З огляду на це, спостереження за ними протягом різних пір року є надзвичайно захоплюючим.

Подібно до хвойних масивів, висота дерев та їх щільність суттєво обмежують видимість неба, що призводить до погіршення точності визначення GPS-координат.[4]

Варто, однак, зауважити, що листяні ліси, можливо, менше впливають на багатопроменевий сигнал, аніж хвойні.

Точка Р4 розмістилася в мішаному лісовому масиві, що надало можливість дослідити взаємодію між такими лісами та точністю GPS-сигналів.

Місцевість вирізнялася різноманіттям порід дерев, формуючи таким чином неоднорідне середовище для здійснення спостережень.

Певний сектор майданчика був покритий хвойними насадженнями, в той час як інший сектор складали листяні породи, що в результаті вплинуло на ступінь затінення неба.

З одного боку, це призвело до розширення діапазону можливих результатів, але з іншого - надало змогу проаналізувати, як різні типи дерев впливають на точність визначення координат.

У змішаних лісах, як правило, спостерігається велике різноманіття рослинності, що може викликати різні перепони для сигналів GPS.

Для забезпечення максимальної точності визначення координат кожної точки, були використані вимірювання за допомогою тахеометра.[4,5]

Це дозволило зафіксувати коректні координати кожної точки, тим самим забезпечивши високу якість вихідних даних для подальшого дослідження.

Завдяки неймовірній точності, тахеометр утвердився як ключовий інструмент для встановлення координат, забезпечуючи надійне зіставлення з даними GPS.

Отже, отримані координати послужили фундаментом для дослідження впливу лісових умов на показники точності GPS, що надало змогу сформулювати більш конкретні поради щодо застосування систем позиціонування в лісовій промисловості та аналогічних умовах.

2. Збір даних

Ми ухвалили рішення про організацію моніторингу, що гарантуватиме максимальну прецизійність і можливість порівняння отриманої інформації.

Кожна конкретна область спостережень перебувала під пильним наглядом з використанням GNSS-апаратури, а для отримання оптимальних результатів особливе значення мав специфічний підхід до розташування антен.

Встановлення антен на висоті чотири метри дозволило уникнути негативного впливу заростей та інших перешкод, здатних значно погіршити точність сигналу від супутників, що, своєю чергою, забезпечило більшу надійність та кращу якість зібраних даних.

Для спостережень були задіяні телескопічні кріплення, які закріплювалися на штативі, аби забезпечити стійкість конструкції.

Це унеможливило будь-які зрушення антени, здатні вплинути на точність визначення координат.[4]

Ключовим елементом методики було вирівнювання антени задля досягнення максимально коректної орієнтації, що прямо впливає на достовірність кінцевих вимірювань.

Завдяки цьому методу, кожний етап збирання інформації пристосовувався до динамічного переміщення космічного апарату, забезпечуючи стабільність показників в усіх здійснених замірах.

Вносячи корективи у графік збору інформації, зміщуючи його щодня на чотири хвилини, ми зберегли необхідний рівень точності, враховуючи циклічні варіації орбіти.

Це дозволило досягти високого рівня зіставлення отриманих результатів і уникнути систематичних похибок, спричинених відхиленнями орбіт супутників з часом.

Кожне вимірювання було ключем до глобального плану безперервного контролю за станом місцевості, даючи змогу дослідити вплив різноманітних чинників на точність GPS-визначення координат.

Застосування високої частоти збирання даних, стаціонарних антенних систем та синхронізація часових проміжків спостережень допомогли зібрати об'ємний масив даних, що придатний для всебічного аналізу та формування науково обґрунтованих висновків.

Цей методичний та скрупульозний план дослідження критично важливий для оцінки коректності даних ГНСС в умовах, які представляють собою складне середовище, зокрема в лісових масивах.

Застосування виваженого підходу до збору інформації не тільки дає змогу проаналізувати вплив різноманітних перешкод на точність визначення координат, а й розробити практичні настанови, спрямовані на вдосконалення використання GPS та інших систем навігації в лісовому господарстві.[4]

Таблиця 2 - Розклад спостережень та час узгодження для кожної сесії.

День 1	Точка	День 2	Точка	День 3	Точка	День 4	Точка
11:00	P1	10:56	P2	10:52	P3	10:48	P4
13:00	P2	12:56	P3	12:54	P4	12:48	P1
15:00	P3	14:56	P4	14:54	P1	14:48	P2
17:00	P4	16:56	P1	16:54	P2	16:48	P3

Отримані сферичні фотографії сприяли глибшому розумінню перешкод, викликаних навколишнім середовищем – дерев'яним покривом,

чагарниками та іншими деталями місцевості, котрі негативно впливають на сигнал GPS.

Враховуючи унікальність кожної точки спостереження, що стосується видимості та факторів, які її обмежують, з'являється можливість створення більш досконалої моделі для оцінки впливу різних умов лісу на точність визначення координат.

Застосування сферичних зображень на всіх стадіях спостереження мало принципове значення для порівняння змін доступності неба, що відбуваються у реальному часі.

Аналіз змін індексу видимості небосхилу дозволив не тільки оцінити поточний стан спостережень, але й ідентифікувати ключові чинники, котрі стримують можливості точного визначення положення, зокрема густоту лісів, породний склад насаджень та присутність відкритих ділянок.[4,6]

Приміром, на територіях, де ростуть високі дерева з потужними стовбурами, огляд неба значно ускладнено, що безпосередньо впливає на точність GPS-позиціонування, зменшуючи її.

У цих зонах кількість супутників, з яких можна отримати дані для визначення координат, суттєво зменшується, як наслідок збільшується PDOP (зменшується точність локалізації).

Дослідження додатково акцентувало ключовість врахування метеорологічних чинників при проєктуванні та проведенні GNSS-спостережень у реальному середовищі.

Так, опади та хмарність здатні суттєво скоротити кількість доступних для спостереження супутників, а також впливати на точність обчислень, змінюючи швидкість передавання сигналу та інші властивості.

У подібних ситуаціях якість даних може бути значно підвищена шляхом коригування часу спостережень, перенісши їх, наприклад, на інший день.

Таблиця 3, демонструє зміни індексу ясності неба протягом часу, дає можливість оцінити вплив погодних умов та особливостей ландшафту на результативність збору даних.[4]

Таблиця 3 - Різні діапазони навісу на висоті 5 м.

Точки спостереження	Середній індекс видимості неба (%)			
	День 1	День 2	День 3	День 4
P1/ Відкрите небо	84.2	82.4	82.9	85.7
P2/ Хвойні дерева	22.2	23.8	21.7	20.1
P3/ Листяні дерева	18.3	20.1	28.9	32.4
P4 / Змішаний ліс	14.5	24.2	17.5	19.6

Ця таблиця слугує фундаментом для подальшого аналізу та узагальнень щодо вдосконалення методів визначення місцезнаходження, а також їх пристосування до особливостей лісових умов.

Відповідно, системний розбір даних з використанням напівсферичних фотографій і врахуванням погодних змін продемонстрував варіації точності позиціонування за різних обставин, що склалися, і дав можливість сформулювати важливі висновки стосовно вдосконалення процесу збору інформації для майбутніх досліджень.[4]

Спостереження здійснювалися з використанням фотокамери Nikon Coolpix 995, обладнаної спеціальним напівсферичним об'єктивом "риб'яче око", котрий дозволяє отримувати напівсферичні знімки з великим кутом захоплення.

Цей різновид лінзи є оптимальним інструментом для дослідження прозорості неба з різних позицій, що критично важливо для визначення

якості GNSS-приймання, адже дає змогу точно візуалізувати рельєф та перешкоди, здатні перекривати супутникові сигнали.

Розрахунок індексу чистоти неба для кожного знімку здійснювався із залученням програмного забезпечення Gap Light Analyser.

Дане ПЗ розроблено спеціально для опрацювання півсферичних знімків та формування детальної інформації про небесне покриття, що надзвичайно важливо для аналізу умов виконання GNSS-вимірювань.

Обчислення показника видимості небосхилу на основі представлених зображень дозволяє отримати достовірні дані щодо ймовірності виявлення супутників, а відтак, і про точність визначення координат.

На ілюстрації 1 продемонстровано панорамні знімки півсфери для кожної точки спостереження.



Рисунок 1 - Півсферичне фото, зроблене з висоти два метри над місцем вивчення.

Дані фото відтворює таку ж картину місцевості, що й точка розташування антени GNSS, сигнал з якої використовується під час вимірювань.

Завдяки такому способу можна зіставити отримані результати з даними GNSS-обладнання, враховуючи всі нюанси, котрі впливають на приймання сигналу та точність визначення положення.[6]

Ці фотографії виразно показали різницю у видимості небесної сфери між пунктами спостереження, надаючи можливість оцінити вплив різних особливостей ландшафту та погодних умов на якість отриманих GNSS-даних.

Зафіксовані значення індексу чистоти неба стали основою для подальшого аналізу та співставлення з іншими показниками, зокрема, PDOP і кількістю видимих супутників, що дозволило сформулювати більш конкретні поради щодо вдосконалення процесу спостережень у лісових масивах.

Для виконання спостережень був задіяний GNSS-приймач LEICA VIVA GS10 виробництва Leica Geosystems (Швейцарія) (Див. Рис. 2).

Цей приймач має функцію диференційного GNSS, завдяки чому можна застосовувати диференціальні станції для корекції сигналу, що істотно збільшує точність вимірювань, порівняно зі стандартними методами визначення місця розташування.

Приймач LEICA VIVA GS10 дав можливість проводити спостереження у випадках, коли звичайне GPS-обладнання не могло забезпечити необхідну точність.

Зовнішня антена закритого кільця результативно мінімізувала вплив перешкод від оточуючих предметів, як-от дерева, будівлі та інші об'єкти місцевості.



Рисунок 2 GNSS приймач LEICA VIVA GS10

Це виявилось критичним, зокрема, під час спостережень в лісах.

У густому лісі, дерева можуть суттєво обмежувати доступ до чистого неба, необхідного для надійного прийому сигналу.

Частоти L1 та L2, на яких функціонує приймач, надають не лише стандартний механізм визначення місцезнаходження, а й покращують точність завдяки використанню двох різних каналів.

Такий підхід дозволяє коригувати затримки сигналу, що виникають внаслідок впливу іоносфери, та суттєво збільшує загальну точність отриманих даних.

Застосування двох частот дає змогу приймачу Leica Viva GS10 коригувати похибки позиціонування, які спричинені впливом атмосфери, особливо коли мова йде про складні ландшафти.

Під час роботи з цим приймачем використовують диференціальну GPS (DGPS) технологію, що сприяє зниженню погрешностей вимірювань та отриманню точності визначення положення з похибкою лише в кілька сантиметрів.

Ці вимірювання беруть до уваги неточності, що можуть виникати через різні фактори довкілля, плюс спотворення сигналу, спричинені лісовими масивами та іншими природними бар'єрами.

Прилад LEICA VIVA GS10 застосовується для збору високоточних даних, котрі після цього опрацьовуються із залученням відповідних програмних засобів для дослідження різноманітних ландшафтів і кліматичних ситуацій, що аналізуються з метою визначення точності позиціонування.[4,6]

Ця система додатково оснащена функціями виправлення та відновлення даних, котрі покращують якість вимірювань в умовах підвищеної складності, де традиційні способи значно зменшують точність.

Завдяки наведеним можливостям, LEICA VIVA GS10 виявився ключовим засобом для виконання високоточних GNSS-вимірювань у лісових областях та інших важкодоступних місцях, де процес отримання інформації значно ускладнюється через обмежене спостереження за супутниками.

Комплектація Leica Viva GS10 включає антену, багаточастотний приймач GPS/GNSS, модулі GSM та радіомодему, а також акумулятор.

Його надійний корпус, розрахований на ударні навантаження, з рівнем захисту від пилу та вологи IP68, забезпечує оптимальне функціонування під час проведення вимірювань в екстремальних умовах.

Крім того, пристрій має стійкість до короткочасного занурення у воду на глибину до 1 метра, що підкреслює його надзвичайну надійність навіть в умовах негоди.

Leica GS10 має систему, яка працює на 555 каналах, з підтримкою кількох частот, та інтегрованими SmartLink, SmartCheck, SmartTrack і Smart xRTK. SmartLink, SmartCheck, SmartTrack та Smart xRTK є втіленням передових розробок Leica Geosystems у сфері GNSS.

Цей функціонал дозволяє визначити положення об'єкта з високою точністю та стабільністю, навіть якщо умови місцевості далекі від ідеальних.

Для зручного підключення до різних приладів Leica GS10 оснащено портами USB, RS232, UART, а також має вбудований модуль бездротового зв'язку Bluetooth.

Водночас, можливості приладу можна суттєво розширити, приєднавши до нього три додаткові зовнішні пристрої.

Вбудований веб-сервер Leica GS10 забезпечує можливість конфігурування й запису даних у форматах Leica та RINEX лише одним дотиком.

Завдяки цьому значно полегшується процес збирання та обробки даних, підвищуючи продуктивність та зручність роботи з ними.

Обладнання та можливості Leica GS10 перетворюють його на надзвичайно ефективний засіб для реалізації різноманітних геодезичних проєктів, зокрема:

- Створення хмар точок безпосередньо на місцевості з сантиметровою точністю.
- Виконання великомасштабних топографічних знімачів.
- Проведення землемірних робіт та зйомки земельних наділів.
- Високоточні вимірювання під час будівництва шляхів, мостів та інших цивільних об'єктів.
- Здійснення інженерних вишукувань для різноманітних потреб.
- Проведення регіональних топографічних досліджень.

Для гарантування максимальної точності вимірювань було застосовано базову станцію GPS від Trimble, модель R8 GNSS (Див. Рис. 3).

Цей пристрій обладнано 9 каналами для приймання сигналу, функцією DGPS та здатний забезпечувати точність до 5 мм + 1 ppm при проведенні статичних вимірювань.



Рисунок 3 Базовий GNSS приймач Trimble GPS, модель R8

Встановленням кута нахилу ровера в 10 градусів вдалося мінімізувати вплив слабких сигналів та досягти стабільної роботи навіть за несприятливих умов.

Пристрій обрано для досліджень через його здатність надавати достовірні дані в щільних лісових масивах, де традиційні способи визначення координат зазнають значних похибок внаслідок перешкод для сигналу.

GNSS-приймач Trimble GPS, модель R8, представляє собою високоточний вимірювальний інструмент та активно застосовується для статичних і кінематичних вимірювань в умовах, що вимагають особливої уваги.

Він знаходить широке застосування при вимірюваннях, як статичних, так і кінематичних, навіть в умовах з підвищеними складнощами.

Це приймальна станція з дев'ятьма каналами, яка функціонує на частотах L1 та L2. Вона обладнана диференційним GPS (DGPS), що дозволяє досягти надзвичайно високої точності в процесі вимірювань.

Статична точність даної станції може сягати позначки в 5 мм + 1 ppm, що робить її чудовим рішенням для проведення високоточних геодезичних робіт. Серед таких робіт - топографічна зйомка, управління будівництвом та геофізичні дослідження.[4]

Однією з ключових переваг Trimble R8 є її здатність функціонувати в умовах, з якими інші прилади, як правило, стикаються з труднощами, наприклад, у випадку слабого сигналу або нерівного ландшафту.

Використання технології Trimble RTK (Real Time Kinematic) дозволяє приймачу миттєво обробляти інформацію та забезпечувати високу точність визначення місцезнаходження навіть у важких для доступу зонах, зокрема, в лісових масивах або гірській місцевості.

Trimble R8 надзвичайно зручний та портативний, завдяки чому його легко транспортувати безпосередньо на місце роботи.

Додатковою перевагою Trimble R8 є його поєднання з програмним забезпеченням Trimble Access, яке дає змогу користувачеві автоматично збирати та опрацьовувати інформацію.

Завдяки цьому, користувачі мають можливість автоматично збирати, обробляти та аналізувати дані, значно спрощуючи робочий процес та підвищуючи продуктивність геодезичних вимірювань.

Система працює із диференційованими та статичними вимірами, гарантуючи високу точність навіть якщо кількість супутників обмежена.

До того ж, Trimble R8 оснащений внутрішнім контролем за станом антени та всієї системи, що дозволяє заощадити час на сервісі та підвищує загальну надійність експлуатації.

Завдяки цим характеристикам Trimble R8 стає ключовим інструментом для високоточного знімання в складних умовах, як от густі ліси або інші важкодоступні локації.

3. Опрацювання результатів спостережень

Щоб розрахувати похибку координат, визначених з даних ровера, що використовує інформацію зі станції, дані за одну годину було попередньо поділено на два періоди по 30 хвилин.

Потім ці часові проміжки були поділені на ще коротші: 1, 5, 15 та 30 хвилин для перших півгодини, і ця ж процедура була повторена для другої половини.

Для знаходження координат кожної точки використовувався фундаментальний аналіз із застосуванням трьох типів GNSS-даних, згрупованих за частотними характеристиками: L1, L2, L1 + L2, а також фазові дані коду несучої частоти (отримані з частоти L1).[4]

Це дало змогу зіставити правильність визначення координат на різних частотах та виявити розбіжності між пунктами, отриманими в один і той самий час на різних частотах.

Для обробки зібраних даних використовувався програмний комплекс Leica Geo Office, який має змогу працювати з RINEX-файлами, що містять інформацію з обох: рухомого приймача та базової станції.

При цьому враховувалися різні формати вихідних файлів.

Висотна маска була налаштована на 10 градусів, щоб приймати сигнали від супутників, які знаходяться безпосередньо над антеною, уникнувши перешкод у вигляді гілок та листя дерев, а також сигналів, що приходять від супутників з низьких кутів.[4,5]

Супутники, які перебувають під низькими кутами, можуть генерувати більші похибки через вплив багатопроменевого розповсюдження сигналу та його інтерференцію.

Для визначення горизонтальних і тривимірних похибок було застосовано перевірені рівняння:

1. Горизонтальна похибка (HDOP):

$$HDOP = \sqrt{(X^2 + Y^2)}$$

де X і Y — це відповідні компоненти координат на площині.

2. Тривимірна похибка (PDOP):

$$PDOP = \sqrt{(X^2 + Y^2 + Z^2)}$$

де Z — це висота точки.

3. Похибка на базі координат GNSS (точність позиціонування):

$$Error = \sqrt{(E^2 + N^2 + U^2)}$$

де E , N і U — це відстані між отриманими точками по осі сходу, півночі та висоти відповідно.

Насамкінець, горизонтальні та тривимірні похибки обчислено за допомогою наступних формул:

1. Для горизонтальних похибок:

$$V_{2D} = \sqrt{(x - xt)^2 + (y - yt)^2} \quad (1)$$

1. Для тривимірних помилок

$$V_{3D} = \sqrt{(x - xt)^2 + (y - yt)^2 + (h - ht)^2} \quad (2)$$

де xt , yt та ht – дійсні координати, що були виміряні тахеометром у відповідних точках, де велись спостереження.

Для кожного фіксованого вимірювання обчислювалися обидві похибки: горизонтальна (HDOP) та просторова (PDOP), враховуючи оцінку помилки позиціонування навіть після фінального опрацювання даних.

Це забезпечило можливість детального аналізу впливу різноманітних чинників, таких як наявність перешкод від дерев, конфігурація супутників на орбіті, а також інших умов навколишнього середовища, на точність отриманих координаційних показників.

Постпроцесинг посприяв виявленню та зведенню до мінімуму систематичних похибок, спричинених багатопроменевим розповсюдженням радіохвиль, а також покращив точність визначення місця розташування через застосування різних видів даних (L1, L2, L1+L2) та їх корекцію згідно даних, отриманих з базової станції.[4]

Зіставляючи результати, отримані на різних стадіях обробки даних, стає можливим ретельно проаналізувати розбіжності та ідентифікувати похибки, які здатні виникати в процесі вимірювань в умовах складного рельєфу лісових масивів.

У випадку з лісною місцевістю, дерева та інші природні бар'єри можуть суттєво зменшити точність отриманих вимірювань.

3.1 Вірогідність зникнення сигналу.

Імовірність переривання сигналу визначається як величина у відсотках від загального часу, протягом якого сигнал GNSS відсутній або є неповним під час процесу спостереження.

Цей показник обчислюється на основі конкретних проміжків часу, що відображають фрагментацію або перебої у сигналі.

Для розрахунку вірогідності зникнення сигналу використовується наступна формула:

$$t = \frac{T_{BT}(t)}{T_{ZAG}(t)} \times 100 \quad (3)$$

де:

- $T_{BT}(t)$ - час, упродовж якого сигнал переривається чи розділений на частини впродовж визначеного інтервалу спостереження t ;

- $T_{ZAG}(t)$ - часовий проміжок, протягом якого сигнал демонструє перерви або фрагментується на окремі частини в межах заданого періоду спостереження t .

Вимірювання ймовірності зникнення сигналу дає змогу оцінити, наскільки якісно відбувається прийом даних від космічних апаратів.

Наприклад, це дозволяє встановити, наскільки на перешкоди, які створюють дерева та інші природні об'єкти, впливають на точність визначення координат.

Цей параметр є критичним, коли виконуються геодезичні роботи або навігаційні завдання у важких умовах, адже наявність фізичних перепон може значно погіршити стабільність GNSS-сигналу.[4]

Для того, щоб визначити ймовірність переривання сигналу, застосовують наступне рівняння:

$$P_k = \frac{\sum_{i=1}^k (i * N_i)}{\sum_{i=1}^k (i * N_i)} \quad (1 \leq k \leq K) \quad (4)$$

де P_k - кумулятивна ймовірність P отримання сигналу після k послідовних прийомів, розділена на загальну кількість прийомів для кожного з супутників K .

Вірогідність переривання сигналу можна визначити як частку часу, коли сигнал відсутній або порушений.

Інакше кажучи, низькі показники ймовірності переривання свідчать про менші перешкоди сигналу, в той час, як показники, наближені до 1 (або 100%), вказують на значніші проблеми з сигналом.

У будь-який поточний момент часу (k періодів) ймовірність переривання сигналу внаслідок втрати даних супутників або проблем із самим сигналом становить величину P .

Для обчислення вірогідності взаємодії сигналу в кожному епоху в кожній локації спостереження, спершу було зібрано первинну інформацію за годинний період, використовуючи дані з марсохода.

Потім зібрану інформацію було поділено на проміжки часу (1, 5, 15 та 30 хвилин) з метою подальшого аналізу.

Для кожного з визначених проміжків часу (1 хвилина, 5 хвилин та інше) було згенеровано окремі файли RINEX, що призвело до формування восьми файлів для кожного часового відрізка спостереження на кожному з пунктів спостереження.

Для кожного з файлів було обчислено вірогідність зникнення сигналу за формулами, взятими з наукових джерел.

Отримані дані збережено у текстовому документі з можливістю перенесення в типові табличні редактори для подальшого опрацювання.

Під час обчислення вірогідності переривання враховувалася кількість послідовних сигналів, зареєстрованих за визначений час спостереження, що дало змогу оцінити надійність супутникового зв'язку протягом усієї тривалості функціонування.

Коли приймачі, що розташовувались на марсоході та базовій станції, мали параметри, що забезпечували запис одного спостереження щосекунди, було зібрано дані за 60, 300, 900 та 1800 епох. Іншими словами, частота

запису варіювалася, включно з двома циклами повторення щогодини, задля підвищення точності розрахунків.

З метою оптимізації результатів та врахування ймовірності переривання сигналу, додатково було проаналізовано вплив факторів довкілля, здатних впливати на якість отриманих спостережень.

Так, прикладом можуть слугувати штучні перешкоди, як-от: високі дерева, густі чагарники чи споруди.[6]

Вони можуть спричиняти суттєве зменшення кількості доступних супутників, а відтак – підвищувати вірогідність переривання сигналу.

У подібних ситуаціях також важливо брати до уваги характеристики сигналів, що надходять від супутників на різних орбітах, а також те, як атмосферні явища, зокрема дощ та сніг, можуть на них впливати.

Вірогідність переривання сигналу було проаналізовано протягом кожного періоду спостереження, що проводився на кожній точці збору даних, шляхом зіставлення показників переривання сигналу як у часі, так і за різних зовнішніх умов.

Для прикладу, ймовірність переривання сигналу під час спостережень на відкритому просторі, де відсутні перешкоди на шляху сигналу, буде значно нижчою, ніж під час роботи в місцях, розташованих під щільною кроною дерев або у вузьких провулках, де тіні від численних будівель та інших об'єктів можуть суттєво збільшувати похибки.

Окрім того, обчислена вірогідність припинення передачі сигналу стала основою для аналізу продуктивності супутників різного формату та робочих частот, таких як L1 і L2.[4]

Ці дані посприяли формулюванню висновків щодо найкращих умов здійснення геодезичних вимірювань та підвищення точності отриманих результатів для різних типів середовища.

Зазначені розрахунки не лише дали можливість оцінити якість GNSS сигналу в кожній точці спостереження, але й дозволили усвідомити ключове значення вибору відповідних параметрів для виконання високоточних вимірювань.

За допомогою аналізу перехоплених даних було встановлено найкращий часовий проміжок для кожного виду зйомки.

Це дозволило зменшити вірогідність похибок під час вимірювань та значно підвищити точність визначення просторових координат.

3.2 Середня похибка спостереження

У таблицях 4 та 5 подано відомості про середні похибки, що стосуються як горизонтальної, так і вертикальної площин, для кожної станції.

Здійснені обчислення дають змогу оцінити рівень точності вимірювань GNSS за різноманітних умов, шляхом порівняння показників похибок для різних станцій та часових проміжків спостережень.

У таблиці 4 зосереджено середні горизонтальні похибки, які відображають точність визначення координат на горизонтальній площині.

Ці дані відіграють важливу роль в оцінці точності вимірювань на конкретній місцевості, де необхідно брати до уваги похибки, викликані перешкодами, багатопроменевістю та втратою сигналів.[4]

Таблиця 4 - Середні горизонтальні похибки.

Середні горизонтальні похибки (м)										
Точки спостереження	Період спостереження (хв)	L1 фіксована	К-ть вип-нь	L1 плаваюча	К-ть вип-нь	L1+L2 фіксована	К-ть вип-нь	L1+L2 плаваюча	К-ть вип-нь	Код
P1	1	-	-	0.328	12	0.132	12	-	-	0.087
	5	0.095	2	0.432	10	0.132	12	-	-	0.134
	15	0.131	12	-	-	0.133	12	-	-	0.082
	30	0.130	11	0.148	1	0.132	12	-	-	0.118
P2	1	-	-	0.751	12	-	-	0.800	12	1.032
	5	-	-	0.820	12	-	-	0.712	12	0.838
	15	-	-	0.584	12	0.285	2	0.604	10	0.788
	30	0.378	2	0.666	10	0.219	2	0.944	10	0.562
P3	1	-	-	0.661	12	0.298	3	0.632	9	0.466
	5	-	-	0.507	12	0.207	6	0.467	6	0.539
	15	0.086	1	0.454	11	0.201	9	0.565	3	0.686
	30	0.138	5	0.403	7	0.226	12	-	-	0.567
P4	1	-	-	0.732	12	0.177	1	0.867	11	1.039
	5	-	-	0.653	12	0.148	2	0.625	10	0.802
	15	-	-	0.650	12	0.221	5	0.759	7	0.578
	30	0.404	4	0.821	8	0.214	9	0.951	3	0.568

У таблиці 5 подано відомості про вертикальні похибки, що характеризують точність визначення висоти.

Ці похибки мають ключове значення для наукових досліджень, які вимагають високоточних вимірювань висоти об'єктів та змін ландшафту.

Інформація з обох таблиць може бути використана для подальшого аналізу і вибору оптимальних методів коригування, спрямованих на покращення точності вимірювань в умовах нерівного рельєфу.

Таблиця 5 - Середні вертикальні похибки.

Середні вертикальні похибки (м)										
Точки спостереження	Період спостереження (хв)	L1 фіксована	К-ть випр-нь	L1 плаваюча	К-ть випр-нь	L1+L2 фіксована	К-ть випр-нь	L1+L2 плаваюча	К-ть випр-нь	Код
P1	1	-	-	0.578	12	0.134	12	-	-	0.123
	5	0.097	2	0.482	10	0.134	12	-	-	0.322
	15	0.133	12	-	-	0.135	12	-	-	0.167
	30	0.132	11	0.148	1	0.134	12	-	-	0.231
P2	1	-	-	2.055	12	-	-	1.711	12	2.540
	5	-	-	1.012	12	-	-	1.044	12	2.236
	15	-	-	1.287	12	0.405	2	1.739	10	1.734
	30	0.396	2	3.818	10	0.329	2	4.966	10	1.737
P3	1	-	-	0.927	12	0.344	3	0.814	9	0.886
	5	-	-	0.775	12	0.286	6	0.924	6	0.974
	15	0.189	1	0.521	11	0.288	9	0.633	3	1.138
	30	0.217	5	0.481	7	0.301	12	-	-	0.923
P4	1	-	-	1.141	12	0.224	1	1.047	11	1.504
	5	-	-	1.262	12	0.486	2	1.102	10	1.865
	15	-	-	1.066	12	0.708	5	0.844	7	1.905
	30	1.727	4	1.189	8	0.820	9	1.003	3	2.101

Звісно, ось переписаний текст українською мовою:

Проте, ключове значення має аналіз показників плаваючого розчину та коду частоти носія, особливо у контексті даних, зібраних в умовах лісу.

Інші визначальні чинники, зокрема висотні маски, значення PDOP, ступінь відкритості неба та щільність навколишніх лісових насаджень, здатні суттєво впливати на успішність захоплення сигналу та генерувати похибки в позиціюванні, навіть за тривалих періодів спостереження.

Ці взаємодії стають наочними, коли аналізуємо кількість стійких сигналів у діапазоні L1 для кожної точки вимірювання, а також розмір помилки, отриманої двосмуговим плаваючим розв'язком.

Прогнозована тенденція до зменшення похибок із збільшенням часу спостережень не завжди спостерігається в місцях, вкритих лісом.

Такий результат можна пояснити ослабленням багатопроменевих сигналів і загальною втратою сигналу в умовах щільної лісової місцевості.

У цьому дослідженні, ми аналізуємо середню похибку окремо для різних видів рішень: фіксованих (коли інформації досить, щоб точно визначити положення) та змінних (коли дані не дають змоги з'ясувати координати з необхідною точністю).

Такий поділ результатів дає змогу зрозуміти, який саме тип розв'язання задачі надає більш передбачувані результати, незалежно від обставин.

Зазвичай, точність покращується з тривалістю спостережень. Проте, у лісистих зонах, зокрема на ділянках P3 та P4, що знаходяться в низинах та на схилах, така закономірність може й не простежуватися.

Цей ефект може виникати через кріплення антени на телескопічній опорі, де центр антени та точка наведення не є ідеально співвісними, що може негативно впливати на точність позиціонування.

Це також підкреслює критичність підбору найвигіднішого розташування антени, особливо у випадках, коли навколишнє середовище здатне створювати перешкоди для сигналу.

Крім того, умови навігації, розташування та орієнтація антени здатні відчутно впливати на точність вимірювань, зокрема, в умовах складної геометрії місцевості.

Слід також брати до уваги додаткові чинники, здатні вплинути на результативність отримання сигналів GNSS, зокрема метеорологічні умови та наявність перешкод, що блокують сигнал (скажімо, дерева або споруди).

Приміром, потужний вітер чи рясний дощ здатні призвести до нестабільності сигналу й погіршення його якості, а це, у свою чергу, може знизити точність одержаних даних.

З огляду на це, критично важливо перманентно відслідковувати навколишнє середовище та відповідно корегувати часові рамки спостережень.

Крім того, слід встановити потрібний кут маскуванія супутників. Це зменшить вплив на точність даних багатопроменевих відбитків та ймовірність прийому дуже слабких сигналів, що також негативно впливають на якість позиціонування.

Тож, коректне налаштування цього параметра має визначальне значення для отримання максимально достовірних результатів.

Окрім цього, для забезпечення надійності й точності спостережень GNSS необхідно враховувати низку факторів, котрі зазнають змін у часі.

До цього переліку належать як швидкоплинні зміни у природному середовищі, так і ймовірні довготривалі впливи, зокрема сезонні варіації умов довкілля чи технічні негаразди у функціонуванні устаткування.[4]

Отже, систематичний аналіз одержаних даних та внесення змін до методів спостережень є ключовим етапом для забезпечення найвищої можливої точності в роботі GNSS-систем.

3.3 Кореляція між помилкою визначення місця розташування та імовірністю втрати сигналу.

Аналізуючи інформацію, здобуту шляхом методів обчислення координат з використанням фази та коду (див. рис. 4), виявляється, що ризик переривання зв'язку стає суттєвішим чинником у порівнянні з іншими параметрами, зокрема у випадках горизонтальної похибки, коли застосовується метод фазового кодового розв'язку.[4]

Цей взаємозв'язок можна трактувати з огляду на структуру поданих даних, адже індекс чистоти огляду неба має зворотну кореляцію з неточним визначенням координат та ймовірністю обриву сигналу в кожному з проведених досліджень.

Ми зосереджуємось на кодових помилках.

Вони часто зустрічаються у лісових спостереженнях, тому ми їх досліджуємо насамперед.

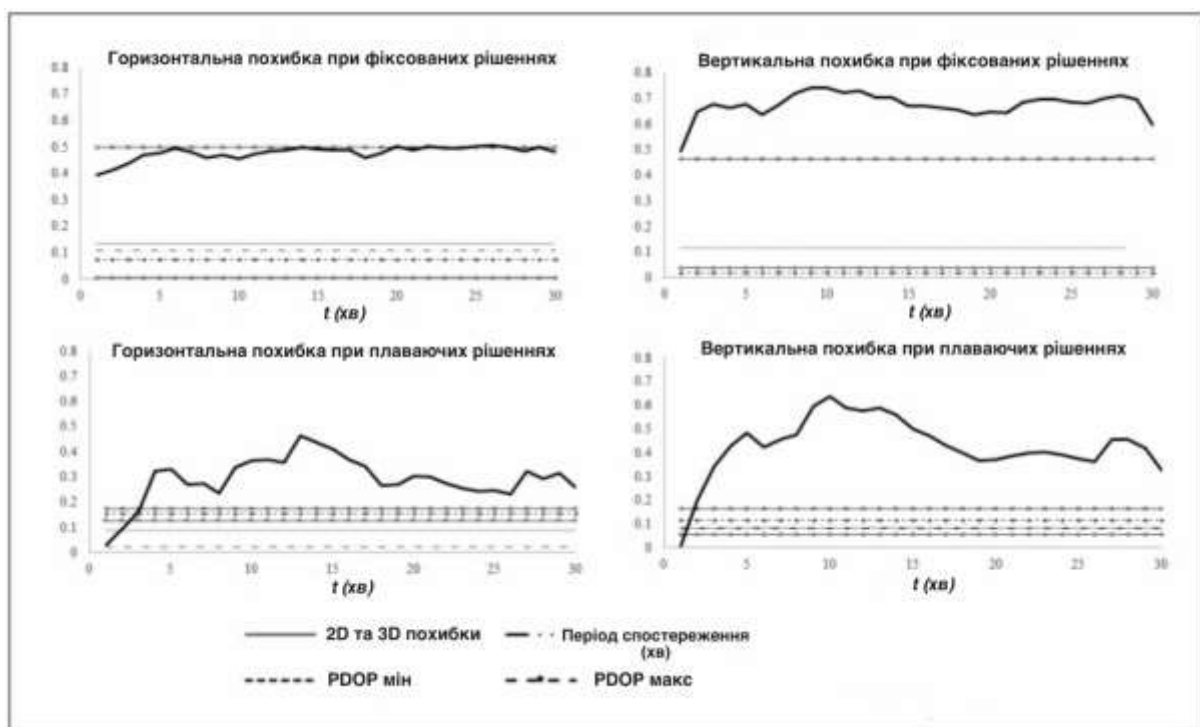


Рисунок 4: Залежність можливості втрати сигналу від інших чинників.

Отримані дані свідчать, що індекс покриття небосхилу сам по собі не є найбільш результативним засобом для оцінки точності визначення положення ГНСС в подібних умовах.

Це підкреслює необхідність застосування додаткових індексів для більш точної оцінки точності позиціонування в складних умовах з обмеженим доступом до небосхилу.

З точки зору практики, імовірність переривання сигналу – це зрозуміла та корисна величина, що її нескладно розрахувати після завершення аналізу даних.

Для цього потрібне лише відповідне програмне забезпечення та можливість отримати доступ до GNSS-інформації.[4,6]

Відтак, на відміну від трудомісткої процедури збирання та обробки панорамних фотографій, оцінка ймовірності перебоїв у сигналі є значно простішою та може бути проведена безпосередньо на місці зйомки.

В підсумку, вірогідність переривання сигналу стає потужним способом оцінки похибок ГНСС та розшифрування архітектури неба довкола, обходячи потребу в окремих фото або складних техніках, на зразок напівсферичного фотографування.

Це визначає його як більш зручний та придатний інструмент для застосування в лісистій місцевості та в інших середовищах з обмеженим оглядом супутників.

Для забезпечення максимальної точності GNSS-спостережень критично враховувати низку факторів, включаючи рівень шуму, присутність перешкод, вплив багатопроменевого поширення, загальні атмосферні умови та тип сигналу.

Ось перелік ключових аспектів, що мають першорядне значення.

Зокрема, ефект багатопроменевості у лісистій місцевості здатний суттєво впливати на точність вимірювань, генеруючи додаткові сигнали-відбиття, котрі можуть призвести до значних похибок у визначенні позиції.

Відтак, критично важливо оцінювати ризик інтерференції сигналу як ключовий фактор, що впливає на якість зібраних даних.[4]

Це набуває особливої ваги у місцевостях, покритих лісами або щільною міською забудовою, де віддзеркалення та тіні сигналів здатні внести суттєві неточності.

Встановлення цього періоду також слугує засобом для подальшого виправлення результатів, мінімізуючи вплив зазначених похибок на підсумкові координати.

До того ж, застосування інформації про ймовірність втрати сигналу виявляється практичнішим і легшим інструментом для вимірювань "в полі", порівняно з альтернативними методами, що можуть потребувати більше часу на отримання та обробку зображень або на складні обчислення.

Завдяки цьому оператори мають змогу оперативніше оцінювати якість зібраних даних та негайно змінювати тактику роботи.

Вивчення ймовірності зникнення сигналу ще й сприяє ретельнішому аналізу змін сигналу протягом тривалого спостереження, дозволяючи глибше зрозуміти, як довкілля впливає на процес вимірювання.

Особливо, якщо йдеться про тривале спостереження, котре триває кілька годин, здатність розрахувати ймовірність втрати сигналу є корисною для визначення стійкості сигналу протягом цього часу, а також може вказувати на можливі проблеми, що можуть вплинути на подальший аналіз.

Показники чистоти неба виражені як абсолютні значення та перебувають у зворотній залежності від похибки визначення координат. Це підкреслює критичне значення чистоти неба для досягнення високої точності GNSS-вимірювань.

Відкритий простір, без дерев та споруд, сприяє бездоганному надходженню сигналу від супутника, мінімізуючи багатопроменеве розповсюдження і відбиття сигналу.

Крім того, ключовим параметром, що має прямий вплив на вірогідність втрати сигналу, є тривалість спостережень.

Як демонструють дані таблиці 4 та графіку 4, збільшення періоду спостереження не завжди гарантує зростання точності.[4]

Це відповідає висновкам, отриманим з попереднього аналізу середньої похибки.

Він демонструє, що після певного відрізка часу значення перестають суттєво змінюватися, а подальше продовження спостережень не завжди приносить помітне покращення точності.

Оскільки шанси на зникнення сигналу залишаються практично ідентичними після 15 хвилин спостереження, це, здається, визначає найефективніший час для проведення такого статичного аналізу.

Імовірність втрати з'єднання після чверті години моніторингу дорівнює імовірності його втрати після такого самого періоду.

Такий інтервал часу відповідає найкращим практикам у галузі та вимогам щодо надзвичайної точності.

Він дозволяє ефективно реалізовувати короткострокові проекти, зокрема, розміщення тимчасових пунктів та обчислення меж земельних наділів.

Необхідно зважати й на вплив лісового оточення на стабільність сигналу.

Дослідження показують, що показники втрати з'єднання можуть суттєво відрізнитися між різними станціями залежно від типу лісової місцевості.

Наприклад, лісові шляхи (P1) показують швидкі зміни, в той час як у соснових лісах (P2) перешкоди відчутніші, що залежить від густоти насаджень та їх розміщення.

Це викликає інтенсивніше багатопроменеве розповсюдження сигналу, ускладнюючи тим самим точне визначення положення.

Схожа картина спостерігається у листяних лісах (P3) та мішаних лісах (P4).[4]

Величезні дерева з масивними стовбурами суттєво підсилюють багатопроменеве розповсюдження радіохвиль.

Це негативно впливає на якість сигналу.

Як наслідок, виникають перешкоди.

Сигнал розбивається на частини, стає фрагментарним.

Усе це підвищує ризик розриву з'єднання, його раптового припинення.

Висновки

У бакалаврській праці ми встановили, що розсіювання сигналу під шатром лісу є ключовим аспектом, який впливає на надійність GNSS вимірювань.

Зокрема, через це можуть відчутно зростати похибки визначення координат, навіть при використанні професійного обладнання.

Це демонструє, що застосування звичайних критеріїв, наприклад, індексу чистоти горизонту чи PDOP, може виявитися недостатнім для надійного визначення помилок в специфічних, важких ситуаціях.

До того ж, задіяння обмеженого періоду спостережень, скоригованого з врахуванням фрагментації сигналу, забезпечує більш надійні показники у порівнянні з тривалішим періодом аналізу.

Це має особливе значення при проведенні високоточних вимірювань в лісовій зоні, де перешкоди, створені деревами, можуть провокувати значні викривлення інформації.

У майбутніх наукових розвідках варто було б розглянути варіант впровадження найновіших технологій GNSS-приймачів, здатних миттєво враховувати вплив розбиття сигналу.

Такий підхід зменшив би необхідність у післяпольовій обробці даних, що беззаперечно збільшило б результативність та точність досліджень безпосередньо на місцях.

Крім того, слід наголосити на значущості використання сучасних технік та алгоритмів для обробки сигналів з метою зведення до мінімуму перешкод, які виникають внаслідок багатопроменевого розповсюдження.

Це явище особливо відчутне в умовах лісових масивів та густої міської забудови.

Враховуючи постійний аналіз наявних даних, досягається суттєве покращення точності та стабільності результатів GNSS-вимірювань, мінімізуючи негативний вплив зовнішніх умов.

Отже, подальші наукові розробки в цій сфері не тільки оптимізують методи збору та опрацювання даних GNSS в умовах лісу, а й відкривають перспективи для впровадження цих технологій в інші галузі, де точність визначення координат має першорядне значення.

Це стосується геодезичних робіт, будівельної діяльності та екологічного моніторингу.

Список використаних джерел

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 «Геодезія 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. Alex Souza Bastos, Hisashi Hasegawa Behavior of GPS Signal Interruption Probability under Tree Canopies in Different Forest Conditions October 2013 Italian Journal of Remote Sensing 46(2013):613-622 DOI:10.5721/EuJRS20134636

5. Гандасека С., Йосімура Т., Хасегава Х. (2001) - Оцінка ефективності позиціонування GPS-зйомки в різних лісових умовах. У працях Першого Міжнародного симпозіуму кооперативу точного лісівництва, Сіетл, Вашингтон, 17-20 червня 2001 р. Вашингтонський університет, Сіетл, Вашингтон, с. 119-123.

6. Хасегава Х., Йосімура Т. (2003) - Застосування двочастотних GPS-приймачів для статичної зйомки під кронами дерев. Журнал лісових досліджень, 8:103-110. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s103100300012>.

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи:

« Дослідження стійкості до переривання GNSS сигналу під кронами дерев
у різних лісових умовах ».

Обсяг пояснювальної записки: _____ аркуша.

_____ рік
(дата)

(підпис студента)