

**Національний університет водного господарства та
природокористування**
Навчально-науковий інститут агроекології та землеустрою
Кафедра землеустрою, кадастру, моніторингу земель та геоінформатики

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до магістерської роботи

освітньо-кваліфікаційний рівень *магістр*

на тему «Оцінка точності супутникових спостережень в умовах обмеженої
видимості на основі емпіричних даних»

Виконав: студент VI курсу,
групи ГЗ-61м спеціальності
193 «Геодезія та землеустрій»
Струк С.М.

Керівник: Янчук О.Є.
Рецензент: Придатко О.М.

Рівне - 2018

Національний університет водного господарства та природокористування

Навчально-науковий інститут агроекології та землеустрою

Кафедра землеустрою, кадастру, моніторингу земель та геоінформатики

Освітньо-кваліфікаційний рівень – магістр

Напрямок підготовки 0801 «Геодезія, картографія та землеустрій»

Спеціальність 193 «Геодезія та землеустрій»

Спеціалізація «Землеустрій та кадастр»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри землеустрою,
кадастру, моніторингу земель
та геоінформатики

_____ *В.С. Мошинський*

“ ___ ” _____ 2017 р.

Завдання

на магістерську роботу студенту

Струку Станіславу Миколайовичу

1. Тема роботи: «Оцінка точності супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості на основі емпіричних даних»

Керівник роботи: к.т.н., доц. Янчук О.Є.

затверджені наказом по університету від 13 листопада 2017 р. № С 998.

2. Строк подання студентом роботи: 13 лютого 2018р.

3. Вихідні дані до роботи:

3.1. Схема розташування перманентних станцій RIVN та RVNE та їхні координати.

3.2. Файли добових спостережень перманентних станцій у форматі RINEX

3.3. Схеми закриття горизонту на точках виконання натурних спостережень.

3.4. Файли натурних спостережень тривалістю 5-12 годин приймачами Leica GPS 1200 у форматі RINEX

3.5. Літературні джерела.

4. *Зміст пояснювальної записки* (перелік питань, що їх належить розробити):

Вступ

Розділ 1. Загальна характеристика глобальних навігаційних супутникових систем

Розділ 2. Аналіз досвіду використання супутникових методів в умовах обмеженої видимості горизонту.

Розділ 3. Дослідження точності супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості горизонту на основі емпіричних даних.

Розділ 4. Регресійний аналіз одержаних результатів.

Висновок

Список використаної літератури

5. *Перелік графічного матеріалу:*

5.1. Комплект роздаткових матеріалів

5.2 . Презентація в форматі Power Point

6. *Дата видачі завдання:* 1 жовтня 2017 р.

Календарний план

<i>№ n/n</i>	<i>Назва етапів виконання дипломної роботи</i>	<i>Термін виконання етапів дипломної роботи</i>	<i>Примітки</i>
<i>1</i>	<i>Збір вихідних матеріалів</i>	<i>01.10.17-31.10.17</i>	
<i>2</i>	<i>Аналіз досвіду використання супутникових методів в умовах обмеженої видимості горизонту</i>	<i>01.11.17-19.11.17</i>	
<i>3</i>	<i>Опрацювання супутникових спостережень та аналіз їх точності в умовах обмеженої видимості горизонту на основі емпіричних даних</i>	<i>1.11.17-31.12.17</i>	
<i>4</i>	<i>Регресійний аналіз одержаних результатів</i>	<i>01.01.18-14.01.18</i>	
<i>5</i>	<i>Написання та оформлення пояснювальної записки</i>	<i>15.01.18-23.01.18</i>	

Студент

С.М.Струк

Керівник роботи

О.Є.Янчук

РЕФЕРАТ

Струк С. М. «Оцінка точності супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості на основі емпіричних даних».

Магістерська робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістр за спеціальністю 193 « Геодезія та землеустрій» - Національний університет водного господарства та природокористування. – Рівне, 2018.

Магістерська робота: 71 сторінок, у тому числі 33 рисунка, 18 таблиць, список використаних джерел із 31 найменування.

Об'єктом дослідження є супутникові спостереження.

Предметом дослідження є принципи та методи організації GPS спостережень при обмеженій видимості небосхилу з попереднім плануванням

Метою роботи є виконання емпіричної оцінки точності визначення планового та висотного місцеположення на основі натурних супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості небосхилу з попереднім плануванням.

Виконано порівняння точності таких визначень з результатами традиційних наземних вимірювань. Розраховано критерій відкритості горизонту, за допомогою якого можна оцінити вплив перешкод на точність результатів спостережень. За допомогою формул попередньої оцінки точності визначено значення просторового, планового та висотного положення досліджувальних точок.

Методи дослідження : монографічний метод, чисельно-аналітичне моделювання.

Ключові слова : геодезичні вимірювання, GPS, ГЛОНАСС, Galileo, LGO(LEICA Geo Office), ГНСС, супутникові системи, координати.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів.....	8
Вступ.....	9
Розділ 1. Загальна характеристика глобальних навігаційних супутникових систем	11
1.1 Історія розвитку супутникових радіонавігаційних систем.....	11
1.2.GPS NAVSTAR.....	15
1.3. ГЛОНАСС.....	19
1.4. Galileo.....	22
Висновки до розділу 1.....	24
Розділ 2. Аналіз досвіду використання супутникових методів в умовах обмеженої видимості горизонту	25
2.1. Вітчизняний досвід використання супутникових методів в умовах обмеженої видимості горизонту	25
2.2. Закордонний досвід виконання супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості небосхилу.....	28
Висновки до розділу 2.....	31
Розділ 3. Дослідження точності супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості горизонту на основі емпіричних даних.....	33
3.1. Методика дослідження точності супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості на основі емпіричних даних	33
3.2. Загальні результати	

.....	38
3.3. Результати отримані за попереднім плануванням.....	41
Висновки до розділу 3.....	52
Розділ 4. Регресійний аналіз одержаних результатів.	54
4.1. Обчислення коефіцієнту відкритості горизонту $k_{\text{відкр}}$	54
4.2. Перевірка існуючих формул попередньої оцінки точності	56
4.3. Одержання формул для попередньої оцінки точності.....	62
Висновки до розділу 4.....	64
Загальні висновки і рекомендації.....	66
Список використаної літератури.....	68
Додатки	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ГЛОНАСС - глобальна радіонавігаційна супутникова система визначення місцеположення (Росія).

ГНСС - глобальна навігаційна супутникова система.

СКП - середня квадратична похибка.

СРНС - супутникова радіонавігаційна система.

GALILEO - глобальна радіонавігаційна супутникова система визначення місцеположення (Європейське космічне агентство).

GPS NAVSTAR - глобальна радіонавігаційна супутникова система визначення місцеположення (США) (навігаційна система визначення часу і місцеположення).

LGO - пакет програм від виробників Leica, що призначені для опрацювання даних вимірювань.

Супутникова навігація - комплексна електронно-технічна система, що складається з сукупності наземного та космічного обладнання та призначена для позиціонування в просторі (місцезнаходження в географічній системі координат) і в часі, а також визначення параметрів руху (швидкості, напрямку та ін.) для наземних, водних та повітряних об'єктів.

Геодезичні спостереження - ряд геодезичних робіт спрямованих на спостереження та контроль різних об'єктів.

GDOP (Geometric Dilution Of Precision) - критерій погіршення точності визначення місцеположення і часу обумовлений геометрією сузір'я супутників.

RINEX (Receiver Independent Exchange format) - незалежний від типу приймача формат обміну даними GPS-спостережень

ВСТУП

Актуальність. За останні десятиліття геодезичні вимірювання за допомогою глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) пройшли шлях від перших невпевнених кроків до його масового використання у всіх сферах людської життєдіяльності. Ще донедавна невідома аббревіатура GPS тепер визначає окрему галузь зі своїми керівними органами, міжнародними угодами, технічним та технологічним забезпеченням.

Широке впровадження GPS-технологій для спостережень в умовах обмеженої видимості супутників потребує дослідження впливу закритості небосхилу на точність визначення місцеположення. Тому, ведучи спостереження на територіях з обмеженою видимістю горизонту, виконавець повинен переконатися, що в зоні радіовидимості приймача буде достатня для спостережень кількість супутників. Для цього виконують попереднє планування сесій спостереження з використанням спеціальних програмних продуктів, в яких застосована теорія руху супутників. Під час планування визначають кількість та конфігурацію видимих супутників, значення коефіцієнтів DOP у визначений проміжок часу на заданій території. Проте такі дані не дають змоги встановити орієнтовну точність, на яку можна розраховувати при спостереженнях.

Мета і завдання роботи: Мета роботи полягає у виконанні емпіричної оцінки точності визначення планового та висотного місцеположення на основі натурних супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості небосхилу попереднім плануванням.

Відповідно до мети було визначено такі *задачі*:

1. Аналіз досвіду проведення супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості горизонту.
2. Виконати оцінку точності визначення планового та висотного місцеположення на основі натурних супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості небосхилу з використанням програмного забезпечення LGO.

3. Виконати оцінку точності за відхиленнями між еталонними та виміряними довжинами ліній.
4. Провести аналіз даних отриманих при плануванні сеансів GPS-спостережень за допомогою програми PLANNING

Об'єкт дослідження: об'єктом дослідження є супутникові спостереження.

Предмет дослідження: принципи та методи організації GPS спостережень при обмеженій видимості небосхилу з попереднім плануванням.

Методи дослідження: монографічний метод, чисельно-аналітичне моделювання.

Структура та обсяг роботи: робота складається зі вступу, 4 розділів, 33 рисунка, 18 таблиць, висновку та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи - 71 сторінка.

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ГЛОБАЛЬНИХ НАВІГАЦІЙНИХ СУПУТНИКОВИХ СИСТЕМ

1.1 Історія розвитку супутникових радіонавігаційних систем

Супутникові системи позиціонування, які використовуються в даний час відносяться до другого покоління цих систем. Системи першого покоління почали створюватися на початку 60-х років. До них відносяться створені в США системи NNSS (Navy Navigation Satellite System – морська навігаційна супутникова система), яка пізніше отримала назву Transit, Тimation, радянські системи "Циклон-Б", ЦИКАДА, міжнародна система виявлення зазнавших аварії КОСПАС-SARSAT [8].

Прилади супутникової навігації міцно ввійшли у наше життя. Геодезичні вимірювання, геодинамічні спостереження, навігація морських суден та літаків, моніторинг транспортних засобів, персональна навігація – ось неповний перелік сфер, де сьогодні широко застосовуються GPS -, ГЛОНАСС- або Galileo--прилади

Історія розвитку супутникових систем навігації починається з запуском 4 жовтня 1957 року першого штучного супутника Землі. Для визначення параметрів руху супутника з пункту з відомими координатами виконувалися вимірювання доплерівського зсуву частоти. Було очевидним, що при відомих параметрах руху аналогічні вимірювання дозволяли б визначити невідомі координати пункту спостереження. Розвитком цієї ідеї стали радіонавігаційні супутникові системи першого покоління: Цикада (Циклон) в СРСР та Transit в США.



Рисунок 1.1 - Супутник системи "Transit" [29]

В таких системах визначення координат виконувалось по одному супутнику на основі спостереження на протязі 5-6 хвилин доплерівського зсуву частоти. Цей метод дозволяв визначити дві координати об'єкта з точністю близько 100 метрів. Але крім невисокої точності місцевизначення він мав і ряд інших недоліків, наприклад, вимагав незалежного визначення швидкості руху об'єкта. Ще один суттєвий недолік – високоточне визначення координат було можливе лише для нерухомих об'єктів та тих, що рухалися достатньо повільно. Тому такі системи були прийнятними лише для навігації флоту.

Американська супутникова система першого покоління - Transit для навігаційного забезпечення підводних човнів була створена у 1964 році. А у 1967 році вона була відкрита і для цивільного використання.



Рисунок 1.2 - Супутник системи "Цикада" [29]

У 1967 році відбувся запуск першого радянського навігаційного супутника "Космос-192" навігаційної системи військово-морського флоту "Циклон". У 1976 році цю систему було прийнято на озброєння. А у 1979 році створено її цивільний аналог - супутникову систему "Циклон". Система "Циклон" згодом була доповнена комплексом обладнання "Коспас-Сарсат" для пошуку суден, що потерпають лиха. Ця система і досі продовжує функціонувати: навігаційним обладнанням здатним визначати положення судна за супутниками "Циклон" обладнані як цивільні судна, так і кораблі ВМФ.

Завдяки розробці у 1960 році високоточних атомних годинників став можливий новий спосіб визначення координат. Застосування таких годинників на супутниках давало змогу перетворити орбітальне угруповання в мережу синхронізованих передавачів кодових сигналів. А координати приймача визначати шляхом вимірювання затримок сигналів на шляху від супутника до точки вимірювання. 31 травня 1967 року на орбіту було виведено американський супутник TIMATION-I а 30 вересня 1969 року – супутник TIMATION-II, що реалізували кодовий спосіб місцевизначення [29].

У 1964 році в США починаються дослідження щодо застосування в інтересах місцевизначення широкополосних сигналів, модульованих псевдовипадковими шумами. А у 1973 році різні американські програми досліджень в галузі супутникової навігації поєднуються в одну програму - "Навігаційну технологічну програму".

В рамках цієї програми 14 липня 1974 року було виведено на орбіту супутник NTS-1, обладнаний кварцевим та рубідієвим еталонами частоти. Потім апарати NTS-2 та NTS-3 з цезієвими та водневими еталонами. В подальшому ця програма отримує назву NAVSTAR.

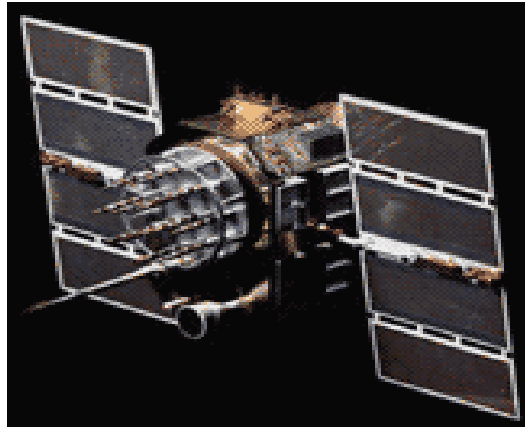


Рисунок 1.3 - Супутник GPS типу Block II [29]

Із запуском у 1978 році перших чотирьох супутників типу Block-I починається її практична реалізація системи NAVSTAR-GPS. Розгортання системи до штатного складу завершилося у 1995 році. У квітні 2000 року система була повністю відкрита для комерційного використання [29].



Рисунок 1.4 - Супутник системи "ГЛОНАСС" [29]

У жовтні 1982 року на орбіту було виведено навігаційний супутник Космос-1413 нової радянської навігаційної системи ГЛОНАСС. А у 1995 році орбітальне угруповання ГЛОНАСС було доведено до штатного складу – 24 супутника. З часом внаслідок занепаду космічної галузі в Росії частина супутників системи вийшла з ладу. Але в останні роки приймаються активні зусилля з доведення угруповання супутників ГЛОНАСС до штатного стану та розвитку сегменту користувачів [29].

GPS та ГЛОНАСС - це системи другого покоління. Визначення положення приймача в них можна розглядати як вирішення просторової лінійної засічки: визначення відстаней від пункту (приймача) з невідомими координатами до кількох об'єктів (супутників) з відомими координатами. Поточні координати супутників розраховуються по відомим параметрам руху. Визначення відстаней від приймача до супутників виконується шляхом спостереження кодових сигналів, а у спеціальних високоточних приймачах також і за рахунок спостереження фази несучої сигналу. Висока швидкість руху супутників дозволяє за короткий інтервал спостережень отримати великий обсяг вимірювань відстаней для різних положень кожного супутника і застосувати методи статистичної обробки для отримання максимально точного результату.

1.2 GPS NAVSTAR

GPS (Global Positioning System) – глобальна система визначення місцеположення, відома також під назвою NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging). Розробка системи почалась у 1973 році. У 1978 році виведено перший супутник цієї системи. Експлуатація і обслуговування системи здійснювалось Міністерством оборони США. Система використовувалась у всьому світі для рішення військових та цивільних навігаційних задач. Повністю готовою GPS визнана лише у 1995 році, проте активно використовується з середини 80-х.

Супутникова навігаційна система GPS являє собою цілий комплекс, основою якого є 24 супутника (системи NAVSTAR) і ряд наземних станцій спостереження, об'єднаних в загальну мережу. Супутники обертаються навколо Землі по кругових орбітах на висоті близько 20 200 км. Зазначена висота необхідна для забезпечення стабільності орбітального руху супутників і зменшення фактору впливу опору атмосфери. За абонентське обладнання служать індивідуальні GPS-приймачі, здатні приймати сигнали з супутників і за прийнятою інформацією обчислювати своє місце розташування.

Визначення координат приймачем засновано на динамічній просторовій засічці при отриманні ним сигналів від що-найменше чотирьох супутників. При цьому GPS-приймач дозволяє визначити координати об'єкта, швидкість його руху і точний час.

Для використання динамічної просторової засічки необхідно постійно знати координати супутників. Радіопередавачі ШСЗ неперервно передають сигнали в напрямку Землі. Ці сигнали несуть інформацію про миттєві координати супутників і миттєвий час надсилання сигналу. Сигнали, надіслані від різних супутників одночасно, приймаються відповідними приймачами, що розташовані на земній поверхні у точках із шуканими координатами. Приймачі фіксують час приходу сигналу на антену приймача і, використовуючи швидкість поширення радіосигналу у просторі, визначають миттєву віддаль до супутника. За визначеними віддальми до 4-х супутників та їх миттєвими координатами, розв'язується пряма просторова засічка, з якої знаходять геоцентричні координати пункту спостереження і точний час.

Типовий GPS-приймач робить рішення раз у секунду, має інтерфейс для зв'язку з зовнішніми пристроями (як правило, RS-232), і працює за стандартним протоколом (NMEA-0183) [8]. Найчастіше одержувана від GPS-приймача інформація містить дані про місце розташування (координати в якій-небудь геометричній проекції), швидкість, курс і час. Особливий інтерес представляє побудова диспетчерських систем на базі GPS, які дозволяють контролювати з єдиного центра (диспетчерський пункт — ДП) переміщення рухливих об'єктів (РО) у рамках визначеної території. Найбільш розповсюджена схема являє собою систему локального радіозв'язку для передачі даних РО — ДП і програмне забезпечення ДП, призначене для оперативного відображення обстановки.

Інтерфейс між навігаційними супутниками GPS і апаратурою споживачів складається з двох радіоліній L-діапазону частот [8]. Кожен навігаційний супутник GPS випромінює радіосигнали в двох частотних піддіапазонах. Номінальні несучі частоти: $L_1=1575,42$ МГц і $L_2=1227,6$ МГц.

У GPS використовується кодовий поділ радіосигналів навігаційних супутників в обох піддіапазонах L1 і L2. Кожен супутник передає навігаційні радіосигнали з унікальним кодом на частотах піддіапазонів L1 і L2.[8]

Системи GPS складаються з 3 елементів:

1. Космічного сегмента, який складається зі штучних супутників Землі, що передають радіосигнали на Землю;
2. Контрольного сегмента (сегмент управління), який стежить за функціонуванням всієї системи;
3. Сегмента користувачів, який включає приймачі різних типів.

Космічний сегмент ГНСС – це вся сукупність ШСЗ, що входять до системи.

В системі GPS космічний сегмент являє собою систему з 24 ШСЗ (на даний час на орбіті присутні 31 робочий супутник), розподілених по шести майже колових орбітах (з ексцентриситетом $e < 0,01$) з висотою біля 20200 км.

За проектом на кожній орбіті планувалося розмістити по 4 супутники, проте зараз ця кількість більша. Середня кутова відстань між вузлами орбіт супутників складає 60° , а нахил орбіт до площини екватора – 55° . ШСЗ обертаються навколо Землі як одне ціле, не змінюючи своїх взаємних положень. Період обертання супутників близько 12 годин.

Існують сім класів супутників GPS: Block I, Block II, Block IIA, Block IIR, Block IIR-M, Block IIF, Block IIIA.

Контрольний сегмент утворений 5 моніторинговими станціями, які розташовані на (Гавайських островах, о. Кваджелейн, о. Вознесіння, о. Дієго Гарсія і у Колорадо Спрінгс). Моніторингові станції приймають контрольні та телеметричні сигнали супутників і при необхідності виконувати корекційні функції. у результаті порівняння даних альманаху з орбітальною моделлю руху супутника обчислюються точки ефемериди для кожного супутника і поправки годинника. З головної станції через контрольні станції на кожний супутник передають його ефемериди та поправки годинника.

Враховуючи цю інформацію виконують корегування навігаційного повідомлення станції контрольного сегменту, контрольного місцеположення, швидкість руху та технічний стан супутника. Кожна станція може відслідковувати до 11 супутників.



Рисунок 1.5 Розташування контрольної станції та станцій спостереження GPS

Сегмент користувачів являє собою всю множину GPS-приймачів. Приймачі мають різну будову, функції та призначення, тому їх розрізняють за різними ознаками.

- *Оскільки власником системи GPS є МО США, то в першу чергу приймачі поділяються на дві групи:*

- PPS (Precise Positioning Service) – для точного визначення місцеположення. До цієї групи відносяться військові користувачі НАТО, приймачі яких здатні приймати Y-код, по-збавлений AS та SA-кодування.

- SPS (Standard Positioning Service) – для стандартного визначення місцеположення. До другої групи відносяться усі цивільні користувачі, приймачі яких приймають сигнали, кодовані функціями AS та SA.

- *Залежно від призначення приймачі поділяють на три групи:*

- Навігаційні. Приймачі цієї групи миттєво визначають своє місцеположення. Середня квадратична похибка визначення координат

навігаційними приймачами при відсутності перешкод та виключеному SA-кодуванні супутникових сигналів не перевищує 10 м, а при включеному SA-кодуванні може досягати 200-300 м.

- Геодезичні. Ці приймачі призначені для диференційних вимірювань (одночасно вимірювання проводяться мінімум двома приймачами) і визначення приростів координат між статично закріпленими приймачами. Точність визначення приростів координат може досягати 1 мм.

- Спеціальні. Вони можуть мати різне призначення, зокрема, визначення точного часу.

- *Залежно від принципу вимірювання віддалей до супутника приймачі поділяються на : кодові та фазові.*

Деякі приймачі додатково вимірюють доплерівський зсув частоти сигналу. Кодові приймачі визначають положення опрацьовуючи інформацію, що міститься в коді, який передається супутником. Перевага таких приймачів в їх низькій вартості. Недоліком є низька точність.

Фазові приймачі визначають положення шляхом опрацювання вимірювань фази несучої хвилі, яка спостерігається впродовж деякого часу. Такі приймачі значно точніші за кодові і можуть визначати положення із субсантиметровою точністю.[8]

1.3 ГЛОНАСС

ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система) — радянська/російська радіонавігаційна супутникова система, розроблена на замовлення Міністерства оборони СРСР. Розгортання системи у космосі зроблено за допомогою супутників «Глонасс-К» та «Глонасс-М» (ГЛОНАСС 2-го покоління)

Глобальна навігаційна супутникова система ГЛОНАСС призначена для визначення місця розташування, швидкості руху, а також точного часу морських, повітряних, сухопутних та інших видів споживачів.

Система ГЛОНАСС складається з трьох підсистем:

- підсистеми космічних апаратів (ПКА);
- підсистеми контролю і управління (ПКУ);
- навігаційної апаратури споживачів (НАС).

Підсистема космічних апаратів системи ГЛОНАСС складається з 24-х супутників, що знаходяться на кругових орбітах заввишки 19100 км., нахилом $64,8^\circ$ і періодом звернення 11 годин 15 хвилин в трьох орбітальних площинах. Орбітальні площини рознесені по довготі на 120° . У кожній орбітальній площині розміщуються по 8 супутників з рівномірним зрушенням по аргументу широти 45° . Окрім цього, в площинах положення супутників зміщені відносно один одного по аргументу широти на 15° . Така конфігурація ПКА дозволяє забезпечити безперервне і глобальне покриття земної поверхні і навколоземного простору навігаційним полем.

Підсистема контролю і управління складається з Центру управління системою ГЛОНАСС і мережі станцій виміру, управління і контролю, розосередженої по всій території Росії. У завдання ПКУ входить контроль правильності функціонування ПКА, безперервне уточнення параметрів орбіт і видача на супутники тимчасових програм, команд управління і навігаційної інформації.

Навігаційна апаратура споживачів складається з навігаційних приймачів і пристроїв обробки, призначених для прийому навігаційних сигналів супутників ГЛОНАСС і обчислення власних координат, швидкості і часу.

Навігаційною апаратурою споживачів системи ГЛОНАСС виконуються беззапитові виміри псевдовідстані і радіальної псевдошвидкості до чотирьох (трьох) супутників ГЛОНАСС, а також прийом і обробка навігаційних повідомлень, що містяться у складі супутникових навігаційних радіосигналів. У навігаційному повідомленні описується положення супутника у просторі та часі. В результаті обробки отриманих вимірів і прийнятих навігаційних повідомлень визначаються три (дві) координати споживача, три (дві) складові вектора швидкості його руху, а також здійснюється «прив'язка» шкали часу споживача до шкали Держеталону Координованого Всесвітнього часу UTC(SU).

Дані, що забезпечують планування сеансів навігації, вибір робочого «сузір'я» навігаційних космічних апаратів і виявлення передаваних ними радіосигналів, передаються у складі навігаційного повідомлення.

Глобальна навігаційна супутникова система ГЛОНАСС на даний час складається із трьох типів супутників: ГЛОНАСС, ГЛОНАСС-М та ГЛОНАСС-К (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Загальні параметри супутників системи ГЛОНАСС

Характеристики	ГЛОНАСС	ГЛОНАСС-М	ГЛОНАСС-К
Планова точність,м	-	20	-
Висотна точність,м	60	30	-
Точність прив'язки шкали часу споживача до шкали часу UTC (SU), мкс	0,75	0,75	0,7
Висота орбіти, км	19100	19100	19100
Період звернення	11год15хв	11год15хв	11год15хв
Нахил, град.	64,8	64,8	64,8
Маса, кг	1415	1415	850
Потужність батарей, Вт	1000	14003	-
Метод навігаційних визначень	беззапитовий, далекомірно-доплерівський	беззапитовий, далекомірно-доплерівський	беззапитовий, далекомірно-доплерівський
Термін існування супутника, років	3	7	10

ГЛОНАСС-М - серія космічних супутників, розроблена і випускається ОАО «ИСС» імені академіка М. Ф. Решетнієва. Від супутників серії ГЛОНАСС відрізняються гарантійним терміном активного існування 7 років і

використанням імпортованих (французьких) комплектуючих. Ці супутники випромінюють вже по 2 сигнали для цивільних споживачів, що дозволяє істотно підвищити точність місцеположення.

ГЛОНАСС-К - серія космічних супутників, розроблена ОАО «ІСС» імені академіка М.Ф. Решетнєва. Є третім поколінням супутників цієї серії (2-е 21 покоління - ГЛОНАСС-М). Від супутників попередньої серії відрізняються гарантійним терміном активного існування 10 років, зменшеною масою та іншими удосконаленнями[3,13].

1.4 GALILEO

GALILEO – європейський проект в області сучасних глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS), що забезпечує високу точність, гарантує сервіс глобального позиціонування при цивільному контролі. При забезпеченні автономних послуг навігації і позиціонування, система *GALILEO* буде одночасно міждіючою з GPS і GLONASS, двома іншими глобальними супутниковими навігаційними системами. Пропонуючи подвійні частоти як стандарт, *GALILEO* забезпечить точність визначення координат у режимі реального часу в межах метра. Це гарантує готовність обслуговування в усіх випадках крім найбільш надзвичайних і повідомить користувачам протягом мінімального часу про відмовлення будь-якого супутника. Дана система буде застосовуватися в галузях, де безпека критична, наприклад, навігація потягів, що рухаються, автотранспорту, кораблів і літаків. Об'єднане використання *GALILEO* і інших GNSS систем надасть більш поліпшені сервіси для всіх категорій користувачів в усьому світі [30].

EGNOS (Європейська Геостаціонарна Навігаційна Оверлейна служба)[31] - перший крок до Європейської супутникової навігації. *EGNOS* - державна служба, що здійснює попередження системних збоїв супутникових сегментів *GALILEO*, GPS і GLONASS [9].

Якісне обслуговування має велике значення у функціонуванні безпечних критичних систем, типу цивільної авіації. Завдяки різним поправкам, EGNOS поліпшує точності GPS і GLONASS.

GALILEO інфраструктура розвивається в трьох стадіях:

- розвиток внутрішньоорбітної верифікації (2002-2005pp);
- розгортання (2006-2007pp);
- проектна потужність (з 2008р).

Залучення цивільного сектора в програму GALILEO – це ключ до:

- комерційної орієнтації з метою отримання доходів;
- ефективного керування;
- фінансування.

Програма GALILEO виступає як:

- перше головне Загальне Приватне Товариство (PPP) європейського рівня;
- перша комерційна операція в області глобальної супутникової навігації;
- служба, що виконує потреби цивільних користувачів.

GALILEO інфраструктура передбачає п'ять рівнів обслуговування:

- основний рівень, присвячений інтересам споживача і навігації загального призначення;
- строге обслуговування для використання, де пасажирська безпека критична;
- комерційна послуга. За додаткову плату обслуговується рівень комерційних і професійних задач, що вимагають високих експлуатаційних показників;
- обмежена послуга для урядових задач, що вимагають високої безперервності.
- гуманітарна послуга " Пошук і Порятунк ". Призначена для точного визначення розміщення повідомлень нещастя.

GALILEO містить у собі космічний сегмент із тридцяти супутників: двадцять сім - звичайних, три - з експлуатаційними запчастинами на орбіті.

Супутники знаходяться на кругових орбітах середньої висоти (близько 24,000 км над поверхнею Землі). Функціонування космічного сегмента підтримується мережею наземних станцій, що обслуговують систему і супутники, - сегмент наземного доповнення. Даний сегмент збирає інформацію про працездатність космічного сегмента і передає її в режимі реального часу завдяки навігаційним повідомленням, від функціонуючих супутників споживачам [30].

Крім того, споживач може використовувати більш високий рівень експлуатаційних показників супутникових сигналів, посилених сегментом наземного доповнення. Такі наземні системи передають додаткові сигнали позиціонування і/або дані користувачу різними засобами: існуючою навігацією і системами комунікацій або завдяки спеціально призначеній для цього інфраструктурі.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Досліджено історію розвитку супутникових радіонавігаційних систем, яка розпочалася в 1960-70-х роках.

2. Всі супутникові радіонавігаційні системи спочатку запроваджувалися, як військові проекти, а згодом були відкриті й для цивільного користування.

3. На сьогоднішній день, в Світі, існує 3 діючих супутникових радіонавігаційних системи: американська "GPS NAVSTAR", російська "ГЛОНАСС" та європейська "Galileo".

4. Розглянуто основні технічні характеристики супутникових апаратів 3-ох систем, і їхня кількість, яка виведена на орбіту: GPS NAVSTAR (31 супутник при запланованих 36-ти), ГЛОНАСС (24 супутника), Galileo (24 при запланованих 30-ти).

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ДОСВІДУ ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ МЕТОДІВ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОЇ ВИДИМОСТІ ГОРИЗОНТУ

2.1 Вітчизняний досвід використання супутникових методів в умовах обмеженої видимості горизонту

Обмежена видимість горизонту впливає на ефективну роботу GPS-приймачів обмежуючи видимість супутників та суттєво погіршуючи геометрію супутникового сузір'я. Крім того, в таких умовах зростають похибки зовнішніх умов (іоносферна та тропосферна затримки, багатошляховість поширення сигналу тощо). В таких умовах для успішного використання супутникових технологій велике значення має організація і попереднє планування польових робіт та вибір методики і засобів спостережень. За рахунок вдалого вибору методики спостережень, інструментальних вдосконалень похибки обумовлені зовнішніми умовами можуть певною мірою компенсуватися.

Можливості використання супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості на даний час досліджено не достатньо. Певні аспекти використання GPS в умовах обмеженої видимості горизонту описані, зокрема, в працях Барана П. «Досвід інженерно-геодезичних спостережень за зсувами території міського житлового масиву з висотними будинками», Третяка К. Р. «Оптимізація кінематичних геодезичних мереж: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.24.01 "Геодезія"», Янчука О.Є. «Емпіричні дослідження можливості виконання супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості небосхилу», Волосецького Б. «Геодезичний моніторинг динаміки долинно-руслового рельєфу рік Карпатського регіону» [9, 19,6,7,12].

У роботі Барана П. «Досвід інженерно-геодезичних спостережень за зсувами території міського житлового масиву з висотними будинками» описано досвід інженерно-геодезичних спостережень за зсувами на території з п'ятьма 16-ти поверховими будинками.

У роботі Третьяка К. Р. «До питання тривалості GPS-вимірів при побудові державних мереж 1-го та 2-го класів»[2] описуються проведені дослідження щодо використання супутникових методів для моніторингу висотних споруд. У ході експерименту визначались просторові координати двохчастотних приймачів розташованих на дахах будівель.

Систему GPS було використано для визначення просторового положення вихідних пунктів мережі та робочих пунктів розташованих на дахах згаданих будинків. Деякі міркування щодо можливості використання супутникових методів у процесі будівництва наведено у різних працях.

Можна використовувати GPS для передачі координат та висот на монтажні горизонти. Базові станції при цьому бажано розміщувати або на відкритій території або на дахах сусідніх будівель. Наведено результати проведеного експерименту стосовно можливості використання поданих рекомендацій. На основі його результатів зроблено висновок про точність передачі координат з вихідного на монтажний горизонт порядку 20 мм, точність розмічувальних робіт (два приймачі на одному горизонті) – порядку 5 мм, відносна похибка визначення довжин ліній – 1:20000 при відстанях 100 м.

На даний момент фірми-виробники переважно пропонують ГНСС приймачі здатні працювати з системами GPS, ГЛОНАСС та Galileo. Основним недоліком даного способу є те, що вартість таких приймачів майже вдвічі вища.

В роботі Охрімчук А. Ю. «Оцінка точності визначення складових векторів залежно від тривалості GPS-спостережень та обмеження видимості небосхилу» [1] запропоновано критерій, за допомогою якого можливо оцінити вплив тривалості видимості супутника у певному секторі небесної сфери та інших перешкод на точність результатів спостережень.

В результаті досліджень авторами запропоновано коефіцієнт відкритості горизонту $k_{відкр}$, який можна обчислити за формулою:

$$k_{відкр} = \sum_{i=1}^n p_{відкр}^i = \sum_{i=1}^n (p_{мпус}^i \cdot \sin Z_i), \quad (1.1)$$

де $i = \overline{1, n}$, n – кількість секторів, на які розділено небосхил.

На основі запропоновано коефіцієнту отримано рівняння регресії для обчислення ймовірності визначення базової лінії $p_{\text{визнач}}$ та СКП просторового $m_{\text{прост}}$, планового $m_{\text{план}}$ та висотного $m_{\text{вис}}$ положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової.

Одержані рівняння регресії можуть використовуватися на етапі проектування GPS-вимірювань при виборі місця розташування пункту спостережень залежно від величини відкритої частини небосхилу. Ймовірність визначення базової лінії стверджує про те, що при виконанні спостережень у довільний час (без попереднього планування) базова лінія буде опрацьована.

СКП характеризують точність визначення просторового, планового та висотного положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової за умови опрацювання вектора, та з врахуванням впливу лише фізичного обмеження радіовидимості супутників. Недоліком запропонованих рішень є те, що вони отримані на основі змодельованих даних, та не апробовані на реальних спостереженнях.

Значний обсяг досліджень у цьому напрямі виконано під керівництвом професора Третяка К. Р. [13 ,14]. Зокрема, на підставі експериментальних вимірів, встановлено залежність точності вимірювання вертикальних складових векторів від їх довжини L (у межах від 2-10 км) та тривалості спостережень t (у межах від 10 хв до 2 год) на відкритій території .У роботі Черняги П.Г., Бялика І.М., Янчука Р.М. «Супутникова геодезія. Навчальний посібник» [4] наведено експериментально одержані залежності точності вимірювань перевищень від мінімальної висоти супутників над горизонтом α (у межах 5° - 25° , з кроком 5°), тривалості спостережень t (0,1-10 год) та довжини вектора L (1-10 км).

На даний час при вирішенні регіональних та глобальних проблем геодинаміки, GPS-вимірювання є найбільш вагомим інструментом дослідника.

Однак, як бачимо з проведеного огляду літературних джерел значною проблемою залишається виконання спостережень в умовах забудови через недостатню кількість видимих супутників.

Нині цю проблему в основному вирішують розташуванням приймачів на дахах будівель або за зоною забудови, що потребує додаткового використання традиційних геодезичних методів вимірювань; розробкою засобів, що дозволяють підвищити висоту антени; використанням псевдолітів та ГНСС-приймачів здатних працювати з супутниками декількох систем. Проте, варто відмітити незначну кількість досліджень спрямованих на визначення реальної точності вимірювань в таких умовах.

Зокрема, досі не дано обґрунтованої відповіді на питання, яке обмеження видимості можна вважати задовільним для досягнення заданої точності, а при якому не варто виконувати спостереження. Наприклад, результати дослідження Янчука О. Є. «Дослідження точності GPS-спостережень в умовах обмеженої видимості горизонту» [2] доводять можливість виконання спостережень при частково обмеженому небосхилі без значної втрати точності. Враховуючи, що в даний час замість проектних 24 у системі GPS функціонує 31 супутник, видається актуальним оцінити можливість виконання GPS-спостережень в умовах обмеженої видимості горизонту та дослідити точність таких визначень.

2.2 Закордонний досвід виконання супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості небосхилу

Аналізуючи закордонну літературу з цього питання можна виділити декілька варіантів боротьби з обмеженою видимістю небосхилу. Одним з них є збільшення висоти антени. Для цього пропонується використовувати телескопічні віхи, що дозволяють підвищити розташування антени та збільшити видимість горизонту [8].

Геодезична служба Швеції розробила 30-метрову щоглу, яка швидко встановлюється вертикально над пунктом за допомогою двох теодолітів (рис. 1.7) [25]. Недоліком даного способу є збільшення похибок центрування, вимірювання висоти антени, складність забезпечення її вертикальності.

При збільшенні висоти антени з 1,5 м до 10 м кількість видимих супутників збільшилася з 4 до 9 (рис. 2.1, 2.2).

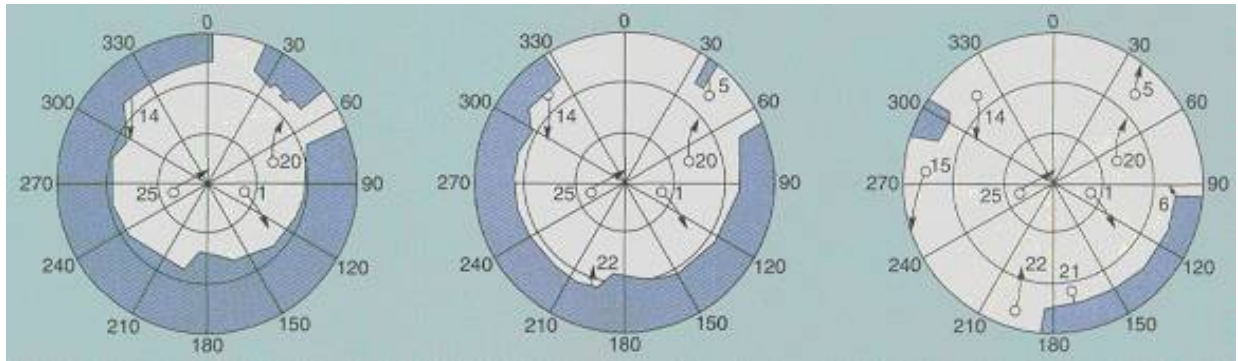


Рисунок 2.1 – Закриття небесної сфери перешкодами та видимі супутники при висоті антени 1,5, 5 та 10 м відповідно [25]



Рисунок 2.2 – Використання телескопічної віхи для встановлення GPS-антени на висоту 10,5 метрів [25]

Для відсіювання додатково відбитих хвиль необхідно використовувати GPS-антени чутливі до поляризації сигналу або обладнані спеціальними захисними дросельними кільцями (Choke Ring). За належної конструкції антени вплив багатошляховості може бути зменшений до декількох міліметрів або практично виключений. Вплив рефракції зменшують шляхом встановлення

кута підвищення на приймачі не менше 10° . Стабільність ексцентриситету фазового центра антени також залежить від додаткового відбиття супутникових сигналів та впливу сторонніх шумів. Його враховують шляхом введення поправок у вимірювання на основі експериментальних досліджень.

Наглядним прикладом є досвід використання GPS для моніторингу деформацій висотних споруд у діловому центрі Чикаго. GPS приймачі встановлені на дахах висотних будівель та обладнані антенами ChokeRing з 4-ма концентричними дросельними кільцями для роботи в урбанізованій зоні з великою кількістю відбиваючих поверхонь.

На основі описаної системи відслідковується реакція висотних будівель на дію вітру для порівняння з даними моделювання на основі методу скінченних елементів та моделлю аеродинамічної труби, які використовуються на етапі проектування.

Іншим способом вирішення проблеми недостатньої видимості супутників є використання псевдолітів (псевдосупутників), які являються передавачами встановленими на поверхні Землі у точках з відомими координатами. Вони передають сигнали подібні до сигналів супутників GPS.

Для прийому сигналів псевдолітів повинен використовуватись спеціальний GPS-приймач з відповідними модулями електроніки та програмного забезпечення [21]. При моніторингу деформацій псевдоліти використовуються за трьома основними напрямками [23]. Перший – використання в умовах міської забудови або у глибоких вузьких долинах і кар'єрах. Другий – так звана внутрішня навігація (indoornavigation) – для навігації у приміщеннях куди не доходять сигнали GPS. Третій – моніторинг у тунелях або під землею.

Основне покращення точності за рахунок використання псевдолітів відбувається у висотній складовій (у 2-4 рази), а точність горизонтальних складових залишається приблизно на тому ж рівні [21, 23]. Наприклад, для роботи у кар'єрах IntegriNauticsCorporation (США) створена система з 4-ох багаточастотних псевдолітів для миттєвого вирішення неоднозначності за фазою несучої. Це викликано тим, що звичайне позиціонування за допомогою

GPS у кар'єрах погіршується через їхнє заглиблення, що призводить до зменшення видимості супутників.

Недоліком даного способу є необхідність довстановлення відповідних модулів електроніки і програмного забезпечення та висока вартість псевдолітів. Крім того, необхідність вирішення проблем пов'язаних з тим, що передавальні антени псевдолітів розташовуються в декілька тисяч разів ближче до користувача, ніж супутники.

Також слід відмітити спроби вирішення проблеми шляхом розробки методів здатних обчислювати навігаційне місцеположення на основі 2[22]-3[26] видимих супутників та використання високочутливих приймачів (high-sensitivityGPS), які реєструють послаблені сигнали від супутників навіть всередині приміщень . Але найчастіше на практиці проблему недостатньої видимості супутників в умовах міської забудови розв'язують шляхом розташування пункту GPS-спостереження на якомога відкритішій території, як правило – на даху будинку [24].

Для інтервалів часу 1-10 хв СКП просторового положення знаходяться в межах 5-6 мм. Запропонована методика досліджень була випробована при моніторингу 26-ти поверхової будівлі. Недоліком даного способу є складність пошуку підходящої будівлі з відкритою видимістю та у випадку подальшої передачі координат на інші точки необхідність використання традиційних засобів вимірювань.

Також має великі перспективи використання ГНСС-приймачів, здатних одночасно приймати сигнали від декількох навігаційних супутникових систем.

У роботах іноземних вчених проаналізовано ефект від збільшення числа супутників в зоні видимості, в умовах „міського каньйону”, за рахунок спільного використання систем GPS/Galileo та GPS/ГЛОНАСС [17].

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2

Отже, в данному розділі проаналізовано використання супутникових методів в умовах обмеженої видимості горизонту як вітчизняного так і закордонного досвіду. Як показало дослідження можливості використання

супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості на даний час досліджено не достатньо. В результаті в праці А. Ю. Охрімчук, П. Г. Черняги, О. Є. Янчука було запропоновано коефіцієнт відкритості горизонту $k_{відкр.}$. На основі запропоновано коефіцієнту отримано рівняння регресії для обчислення ймовірності визначення базової лінії $p_{визнач}$ та СКП просторового $m_{прост}$, планового $m_{план}$ та висотного $m_{вис}$ положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової. На даний час при вирішенні регіональних та глобальних проблем геодинаміки, GPS-вимірювання є найбільш вагомим інструментом дослідника.

Однак, як бачимо з проведеного огляду літературних джерел значною проблемою залишається виконання спостережень в умовах забудови через недостатню кількість видимих супутників.

Якщо аналізувати закордонний досвід, то наглядним прикладом є використання GPS для моніторингу деформацій висотних споруд у діловому центрі Чикаго. У роботах іноземних вчених проаналізовано ефект від збільшення числа супутників в зоні видимості, в умовах „міського каньйону”, за рахунок спільного використання систем GPS/Galileo та GPS/ГЛОНАСС.

Зокрема, досі не дано обґрунтованої відповіді на питання, яке обмеження видимості можна вважати задовільним для досягнення заданої точності, а при якому не варто виконувати спостереження.

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ СУПУТНИКОВИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ В УМОВАХ ОБМЕЖЕНОЇ ВИДИМОСТІ ГОРИЗОНТУ НА ОСНОВІ ЕМПІРИЧНИХ ДАНИХ

3.1. Методика дослідження точності супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості на основі емпіричних даних

Якщо говорити про можливість використання GPS для спостережень за просторовими рухами на техногенно-навантажених територіях, потрібно розглядати кожний об'єкт окремо, залежно від вимог до точності та особливостей ділянки спостережень.

У залежності від конкретних умов території та швидкості просторових рухів земної поверхні і споруд на ній вимоги до точності можуть становити від десятих долей міліметра до десятків сантиметрів. Відповідно до цього необхідно вибирати методику спостережень і прилади. В умовах міської забудови чи деревної рослинності, де є значна кількість перешкод для супутникових спостережень, перевага надається традиційним геодезичним методам знімань.

На нашу думку, оптимальним є поєднання традиційних геодезичних методів вимірювань з супутниковими. Це підтверджує поширення в останні роки так званих smartstation, які являють собою прилади, що поєднують можливості електронних тахеометрів та супутникових приймачів. Проте, все одно актуальним залишається питання до якої межі можливе використання супутникових приймачів, а де необхідно використовувати традиційну методику.[2]

При наявності значної кількості пунктів, де необхідно визначити координати для одержання високоточних рішень економічно вигідніше використовувати традиційні наземні технології. Тому нас цікавить можливість отримання рішень сантиметрового рівня в умовах обмеженої видимості, при затратах часу співрозмірних із традиційними вимірюваннями.

У нашій роботі виконано дослідження точності супутникових визначень просторового положення точок на земній поверхні в умовах обмеженої видимості при спостереженнях тривалістю 1 година.

Такі сесії спостереження можуть використовуватися для геодезичного моніторингу на зсувонебезпечних ділянках, територіях підпрацьованих розробками корисних копалин, лесових ґрунтах зі значними просіданнями.

Також, деякі інші важливі задачі вимагають отримання швидкого значення координат з меншими вимогами до точності. Наприклад, одним з завдань геодезичного моніторингу прибережних територій є вивчення та прогнозування впливу водних об'єктів на земельні ресурси (руйнування берегів, зміна берегової лінії, рівня ґрунтових вод тощо) [12]. Особливо важливим це є для водойм, з якими пов'язано функціонування важливих інженерних об'єктів (гідроелектростанцій, водозаборів, гребель тощо). Адже, наприклад, дослідження руслових процесів та деформацій долинно-руслового рельєфу рік Карпатського регіону після катастрофічних паводків свідчать про значні горизонтальні переформування, величини яких досягають метрових значень, а вертикальні – 0,2-0,5 м [12].

Крім того, така точність у більшості випадків є достатньою при геодезичному забезпеченні використання лісових ресурсів, геологознімальних, пошукових та розвідувальних потреб, а також експлуатації родовищ корисних копалин відкритим способом, шляхобудуванні тощо, де вимірювання часто необхідно виконувати в умовах лісистості території та значних перепадів висот.

Нами оцінюється можливість виконання спостережень та точність просторових визначень в умовах обмеженої видимості горизонту при використанні приймачів, що приймають сигнали лише від супутників системи GPS.

Для проведення експерименту використовувалися два приймачі LeicaGPS1200 та один приймач LeicaTPS1200 SmartStation. На час виконання спостережень (серпень 2013 року) склалася ситуація коли у м.Рівне діяли дві перманентні станції – RIVN та RVNE. Відстань до району робіт від

перманентної станції RIVN становить порядку 4,7 км, а від станції RVNE – 3,6 км. [7]

Схема розташування базових перманентних станцій відносно району робіт наведена на рисунку 3.1.

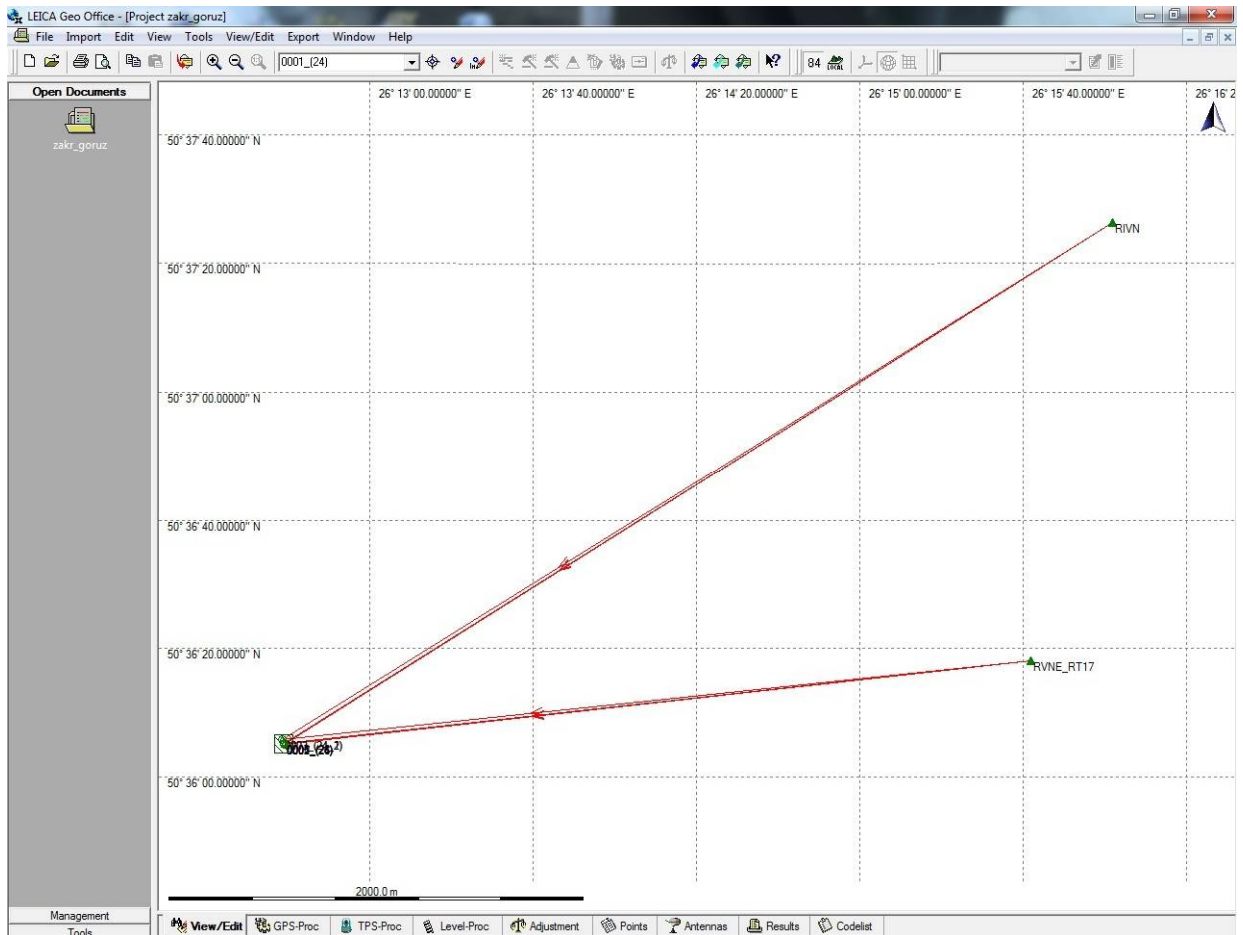


Рисунок 3.1 – Схема розташування використаних перманентних станцій

Спостереження виконувалися протягом двох днів на 5 пунктах, з яких один розташований на відносно відкритій місцевості (кут підвищення перешкод не більше 15°), а решта – під будівлями з різним ступенем закриття горизонту. У перший день два приймачі було встановлено під будівлями – точки 001-002, й один на відкритій ділянці – 003. У другий день всі три приймачі були встановлені під будівлями – точки 005-007. Причому точка 007 – це та ж сама точка 002, де встановлювався приймач у перший день. Схема розташування станцій та тривалість спостереження наведена на рисунку 3.2 та в таблиці 3.1[7]

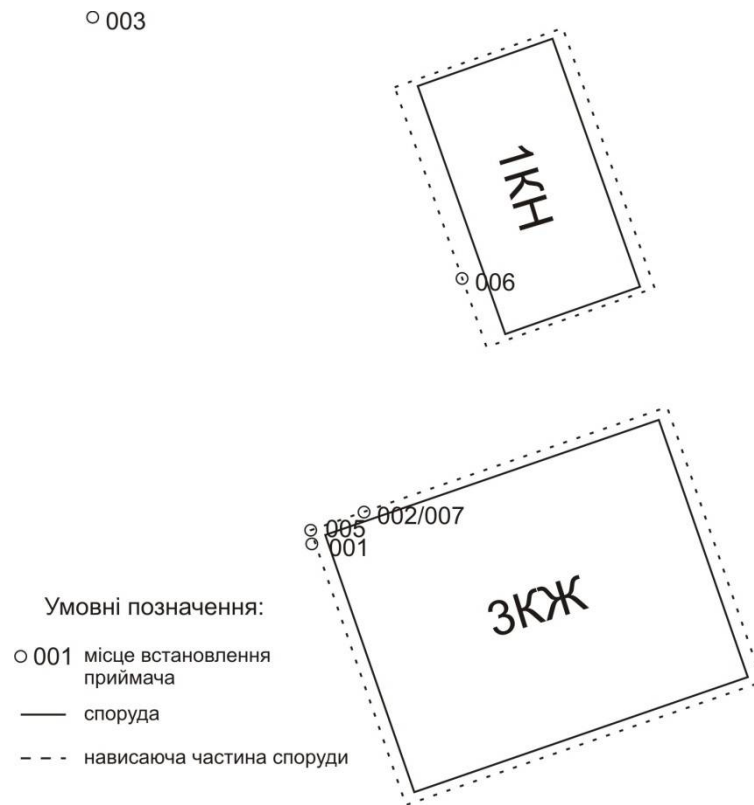


Рисунок 3.2 – Схема розташування пунктів спостереження протягом двох днів[7]

Таблиця 3.1 – Загальна тривалість спостереження на пунктах

№№ точок	Відсоток закриття небосхилу	Тривалість спостереження
001	42	8h46'
002	50	8h43'
003	17	5h05'
005	37	12h06'
006	60	12h07'
007	50	6h17'

Звідси випливає, що для першої точки із 42 % закриття небосхилу тривалість спостереження становила 8 год. 46 хв. Точка № 2 із 52 % закриття небосхилу мала тривалість спостереження 8 год. 43 хв. Точка № 3 мала найменший відсоток закриття небосхилу – 17 %, а час спостереження тривав 5 год. 05 хв. Точка № 5 мала 37 % закриття небосхилу з часом спостереження 12 год. 06 хв., а точка № 6 мала найбільший відсоток закриття небосхилу – 60 % і

тривалість спостереження була 12 год.07 хв. Остання точка № 7 із відсотком закриття небосхилу 50 % спостерігалася 6 год.17 хв.

На 1-му етапі дослідження наведені інтервали часу розбивалися на годинні сесії для опрацювання. Для перевірки точності отриманих рішень виконувалось порівняння розв'язків приростів з еталонними значеннями (зрівноважені значення від обох перманентних станцій за весь період спостережень). Для обчислення точності планових та висотних вимірювань, геоцентричні координати (еталонні та обчислені в процесі дослідження) було перетворено в систему плоских прямокутних координат. Після чого обчислено середньоквадратичні похибки (СКП) визначення приростів координат $m_{\Delta x}$, $m_{\Delta y}$, $m_{\Delta h}$ за формулою Бесселя. СКП $m_{\text{план}}$ планового положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової обчислено за формулою (2.1).

$$m_{\text{план}} = \sqrt{m_{\Delta x}^2 + m_{\Delta y}^2}, \quad (2.1)$$

де $m_{\Delta x}$, $m_{\Delta y}$ – середньоквадратичні похибки визначення приростів координат за осями x та y відповідно.

Для додаткового контролю відстані та перевищення між точками визначалися безпосередніми вимірюваннями на місцевості електронним тахеометром Leica TPS1200. Результати наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Виміряні довжини ліній та перевищення

лінія	Виміряно тахеометром	
	d, м	h, м
003-001	27.677	+0.364
003-002	27.304	+0.364
001-002	1.600	+0.002
007-005	1.402	+0.003
007-006	7.388	-0.002

На 2-му етапі для перевірки точності отриманих розв'язків виконувалось порівняння обчислених приростів зі значеннями виміряними тахеометром, за якими аналогічним чином визначалися СКП довжин ліній та перевищень.

В подальшому з застосуванням попереднього планування відібрані оптимальні одногодинні сесії спостереження на кожній точці. Критерієм відбору оптимальної години спостереження були значення показників DOP.

На 3-му етапі виконувалось порівняння обчислених приростів із оптимальних сесій спостережень (відібраних з попереднього планування) з еталонними значеннями (зрівноважені значення від обох перманентних станцій за весь період спостережень), за якими визначалися СКП довжин ліній та перевищень.

На 4-му етапі виконувалось порівняння обчислених приростів із оптимальних сесій спостережень (відібраних з попереднього планування) зі значеннями виміряними тахеометром, за якими визначалися СКП довжин ліній та перевищень.

3.2. Загальні результати

На першому етапі оцінювалась точність визначення положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової (окремої перманентної станції) на основі відхилень розв'язків годинних сесій від загальних сесій. Результати від перманентних станцій RVNE та RIVN наведені в таблицях 3.3 та 3.4 відповідно.

Таблиця 3.3 – Одержані СКП положення кінцевої точки базової лінії відносно перманентної станції RVNE при тривалості сесії 1 година

№№ точок	Відсоток закриття небосхилу	СКП, м		
		Планова	Висотна	Просторова
001	42	0,049	0,084	0,097
002	50	0,319	0,268	0,417
003	17	0,003	0,004	0,005

005	37	0,049	0,045	0,067
006	60	0,049	0,083	0,097
007	50	0,065	0,041	0,076

Таблиця 3.4 – Одержані СКП положення кінцевої точки базової лінії відносно перманентної станції RIVN при тривалості сесії 1 година

№№ точок	Відсоток закриття небосхилу	СКП, м		
		Планова	Висотна	Просторова
001	42	0,255	0,115	0,280
002	50	0,623	0,55	0,831
003	17	0,004	0,002	0,005
005	37	0,014	0,013	0,019
006	60	0,326	0,275	0,427
007	50	0,210	0,124	0,244

За підсумкові значення прийнято зрівноважені результати від обох станцій одночасно (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Одержані СКП розв'язку базових векторів від перманентних станцій RVNE та RIVN при тривалості сесії 1 година

№№ точок	Відсоток закриття небосхилу	СКП, м		
		Планова	Висотна	Просторова
001	42	0,218	0,166	0,274
002	50	0,648	0,498	0,8177
003	17	0,003	0,003	0,005
005	37	0,145	0,059	0,157
006	60	0,206	0,147	0,252
007	50	0,206	0,125	0,240

Як бачимо, за виключенням точки 002, результати знаходяться в межах 0,15-0,30 м навіть на точках з закриттям горизонту понад 50%. Оскільки точка 002 це та ж сама точка 007, де стояв приймач наступного дня, то це вимагає в майбутньому додаткової перевірки спостережень на цій точці.

На другому етапі за одержаними координатами з одногодинних сесій обчислено довжини та перевищення між лініями, по яких виміряно еталонні значення тахеометром. За цими показниками обчислено СКП визначення довжин m_D та перевищень m_h , які приведені в таблицях 3.6-3.8.

Таблиця 3.6 – Одержані СКП довжин та перевищень при опрацюванні координат дослідних пунктів від перманентної станції RVNE

лінія	m_D , м	m_h , м
003-001	0,042	0,111
003-002	0,192	0,267
001-002	0,230	0,263
007-005	0,040	0,117
007-006	0,088	0,066

Таблиця 3.7 – Одержані СКП довжин та перевищень при опрацюванні координат дослідних пунктів від перманентної станції RIVN

лінія	m_D , м	m_h , м
003-001	0,165	0,155
003-002	0,493	0,492
001-002	0,201	0,516
007-005	0,123	0,159
007-006	0,259	0,269

Таблиця 3.8 – Одержані СКП довжин та перевищень при опрацюванні зрівноважених координат дослідних пунктів від перманентних станцій RVNE та RIVN

лінія	m_D , м	m_h , м
003-001	0,092	0,147
003-002	0,453	0,436

001-002	0,328	0,471
007-005	0,170	0,185
007-006	0,128	0,187

3.3. Результати отримані за попереднім плануванням

На третьому етапі нашого дослідження було виконано відбір оптимальних сесій спостережень із найменшими значеннями критеріїв DOP. Для цього в програмний продукт Planning було завантажено дані супутникового альманаху, де показано розташування супутників на дні наших знімачь. Проаналізувавши доступність супутників та їх місцезположення було визначено час спостережень для забезпечення нормальних умов спостережень із кількістю супутників і значенням DOP з урахуванням наявних на пунктах перешкод. Критерії відбору та відібрані оптимальні періоди для знімання показані на рисунках 3.3-3.12.

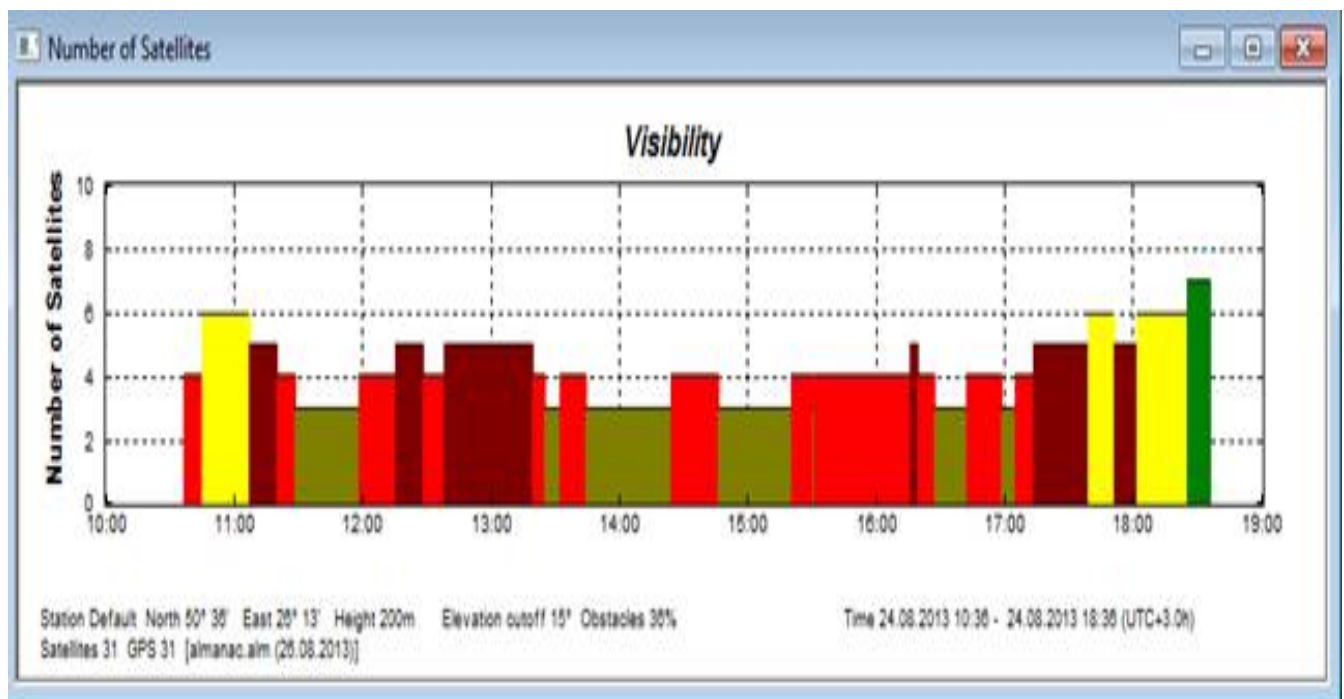


Рисунок 3.3 – Кількість видимих супутників на точці 001 із закриттям горизонту 42%

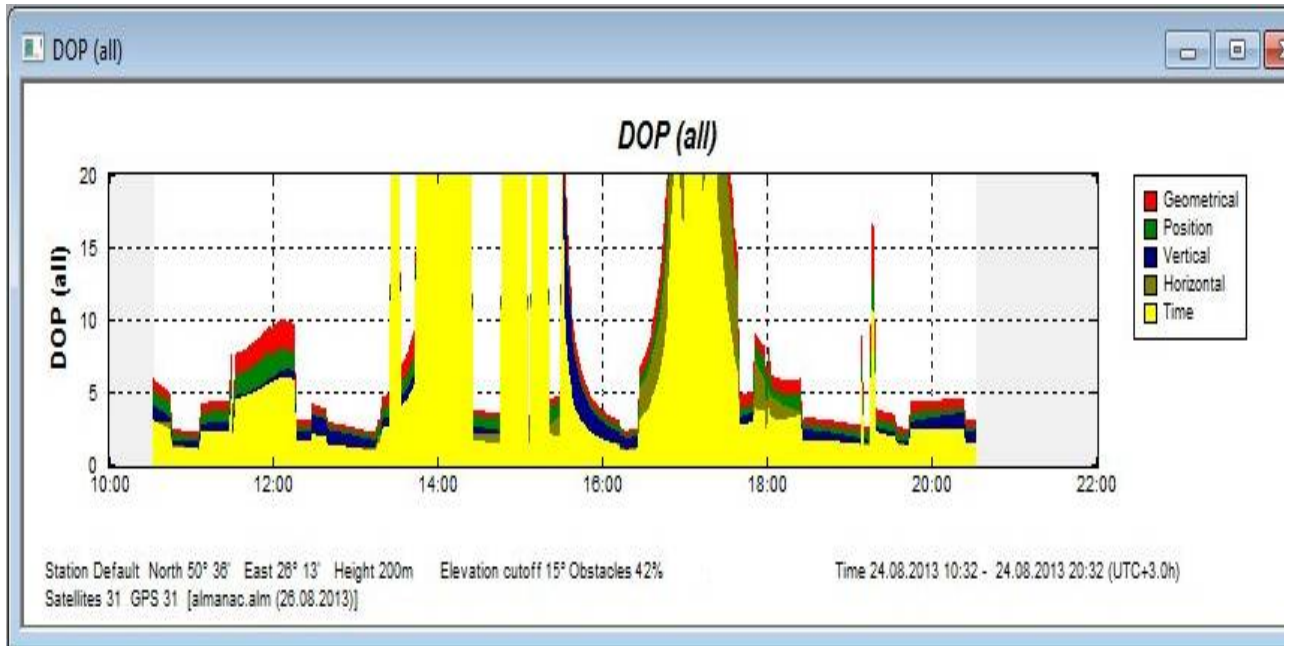


Рисунок 3.4 - Значення критеріїв DOP для точки 001 із закриттям горизонту 42% отримане з програми Planning

Як видно із рисунків 3.3 та 3.4 оптимальним проміжком часу для знімання є період між 12²⁰ та 13²⁰ годинами (місцевий час).

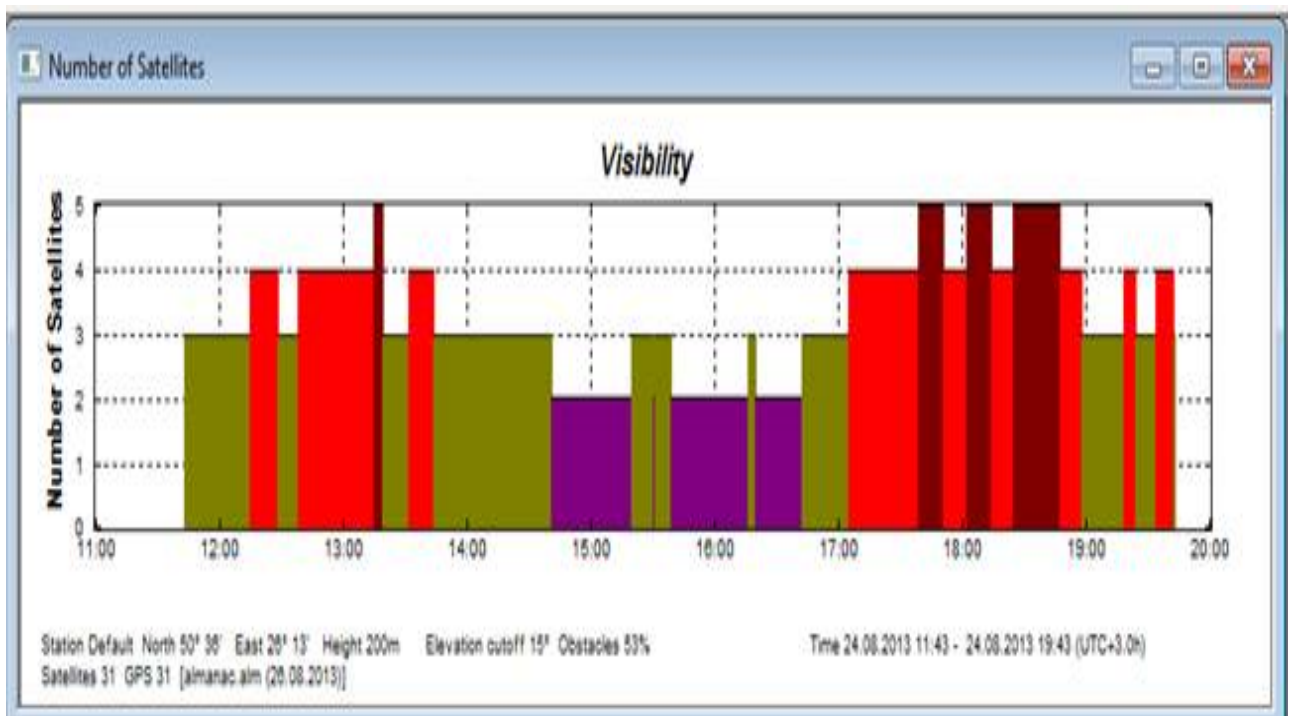


Рисунок 3.5 – Кількість видимих супутників на точці 002 із закриттям горизонту 50%

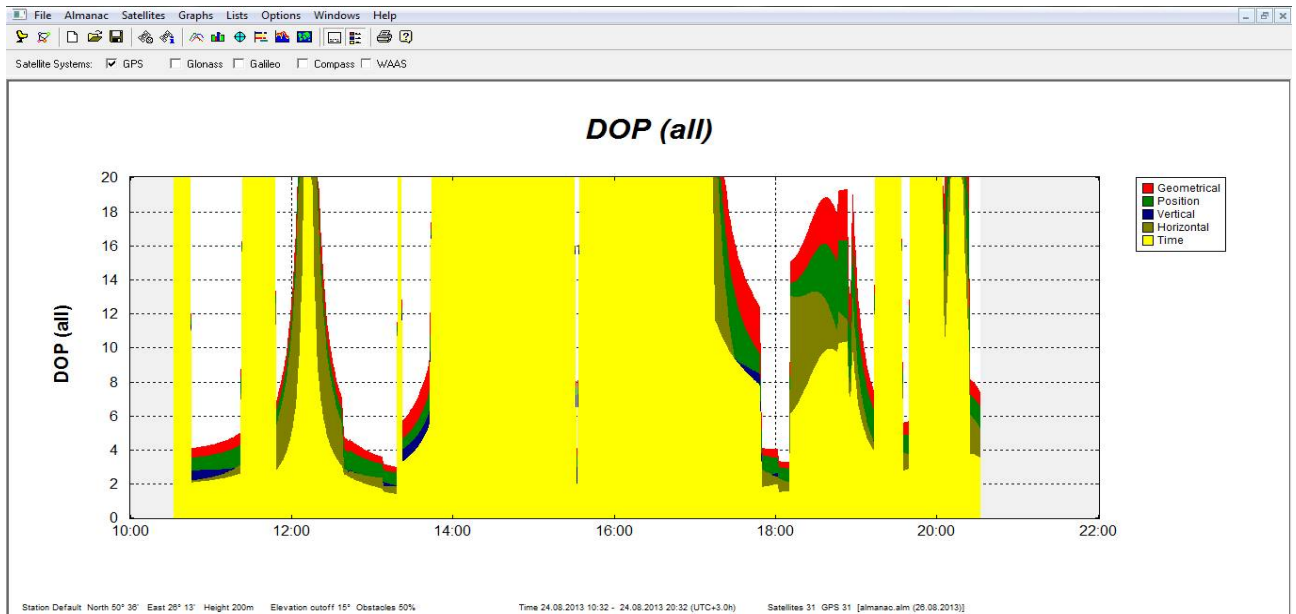


Рисунок 3.6 - Значення критеріїв DOP для точки 002 із закриттям горизонту 50% отримане з програми Planning

З рисунків 3.5 та 3.6 впливає, що оптимальним проміжком часу для знімання є період між 17³⁰ та 18³⁰ годинами (місцевий час).

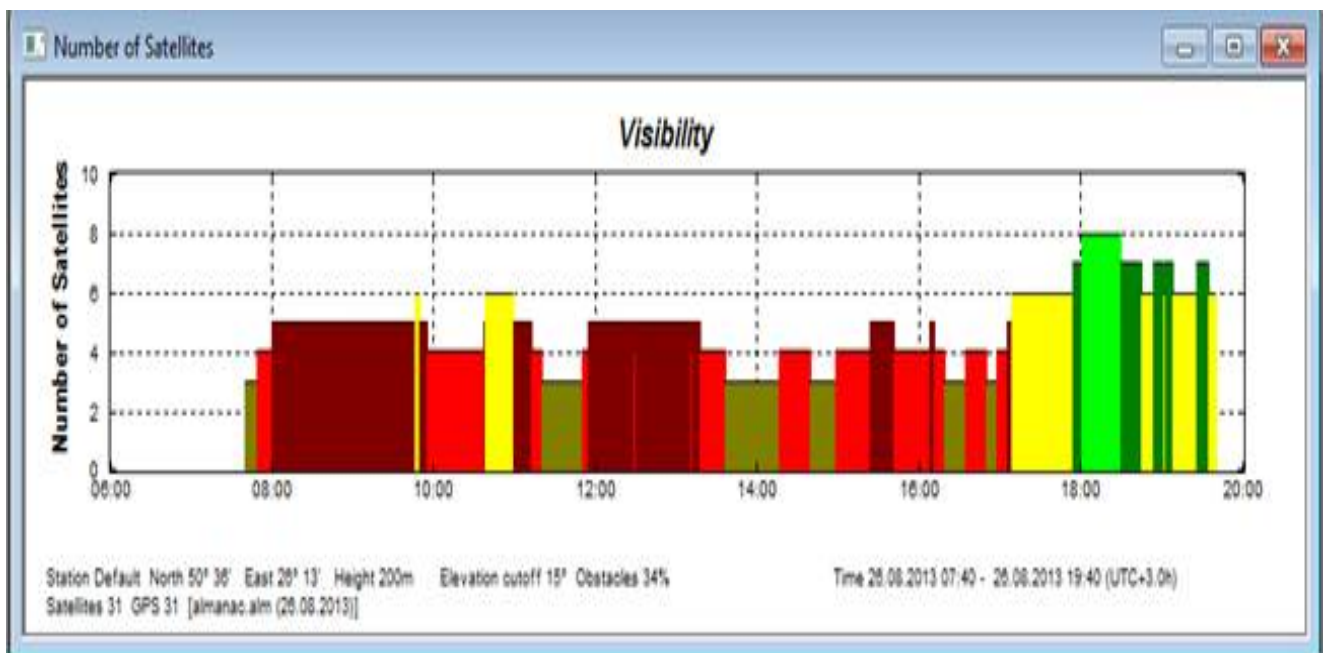


Рисунок 3.7 – Кількість видимих супутників на точці 005 із закриттям горизонту 37%

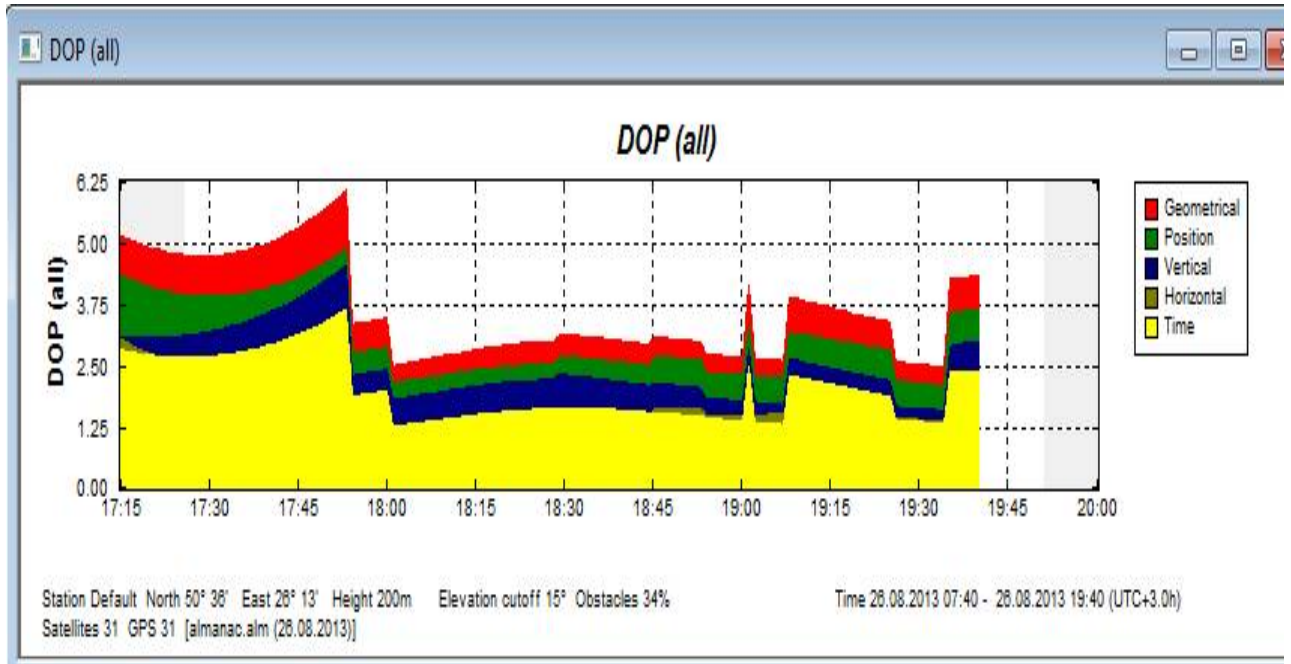


Рисунок 3.8 - Значення критеріїв DOP для точки 005 із закриттям горизонту 37% отримане з програми Planning

Оптимальним проміжком часу для знімання є період між 07⁴¹ та 08⁴¹ годинами (місцевий час) (рисунок 3.7, 3.8).

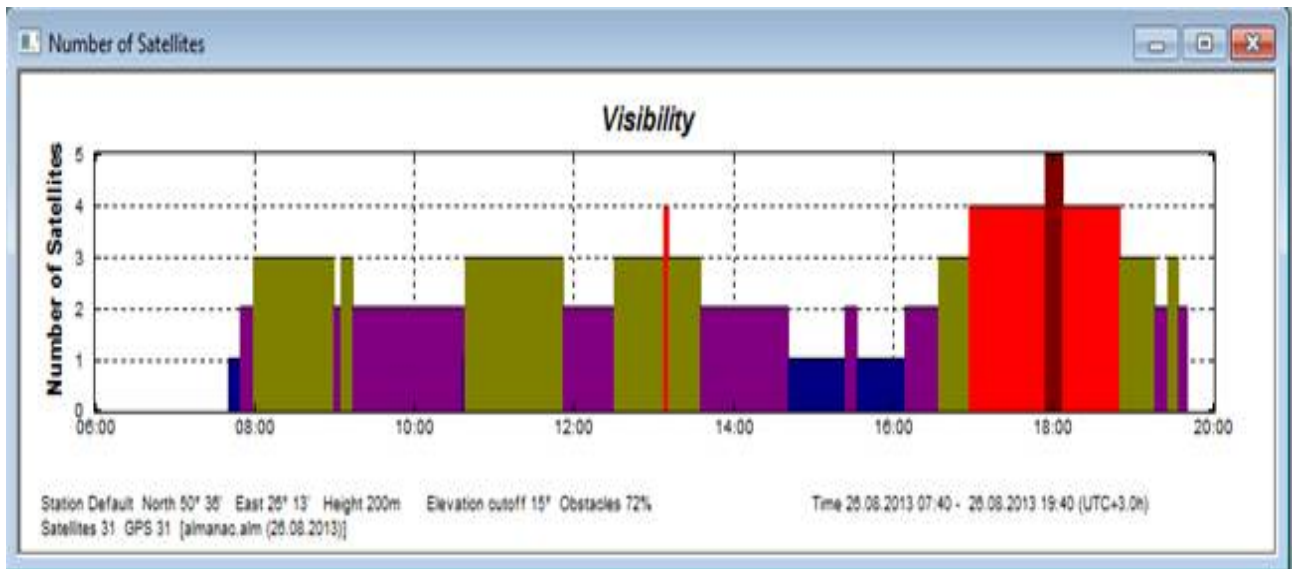


Рисунок 3.9 – Кількість видимих супутників на точці 006 із закриттям горизонту 60% отримане з програми Planning

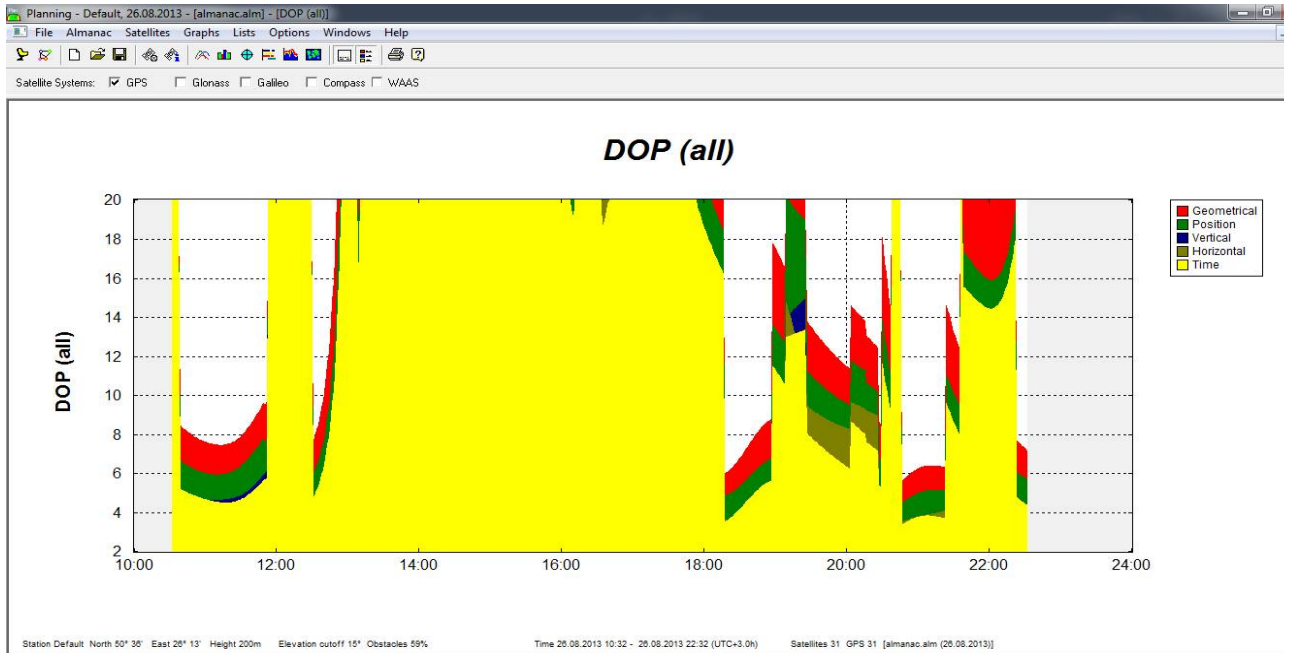


Рисунок 3.10 - Значення критеріїв DOP для точки 006 із закриттям горизонту 60% отримане з програми Planning

Аналізуючи рисунки 3.9 та 3.10 ми бачимо, що оптимальним проміжком часу для знімання є період між 18⁰⁰ та 19⁰⁰ годинами (місцевий час).

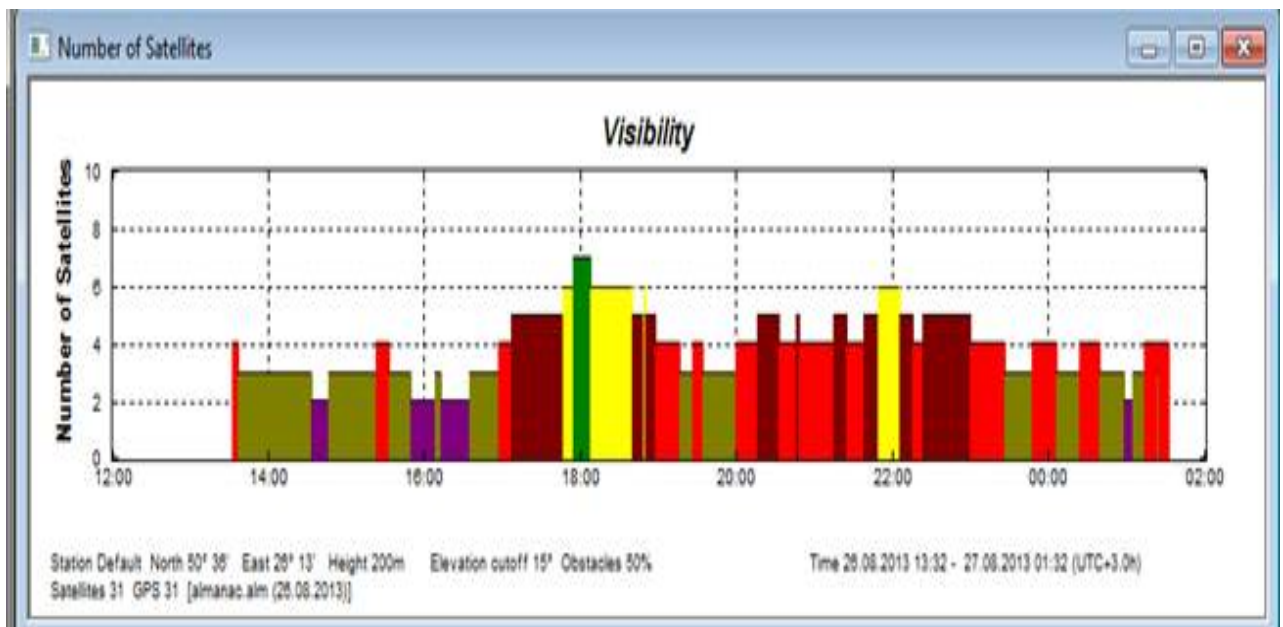


Рисунок 3.11 – Кількість видимих супутників на точці 007 із закриттям горизонту 50%

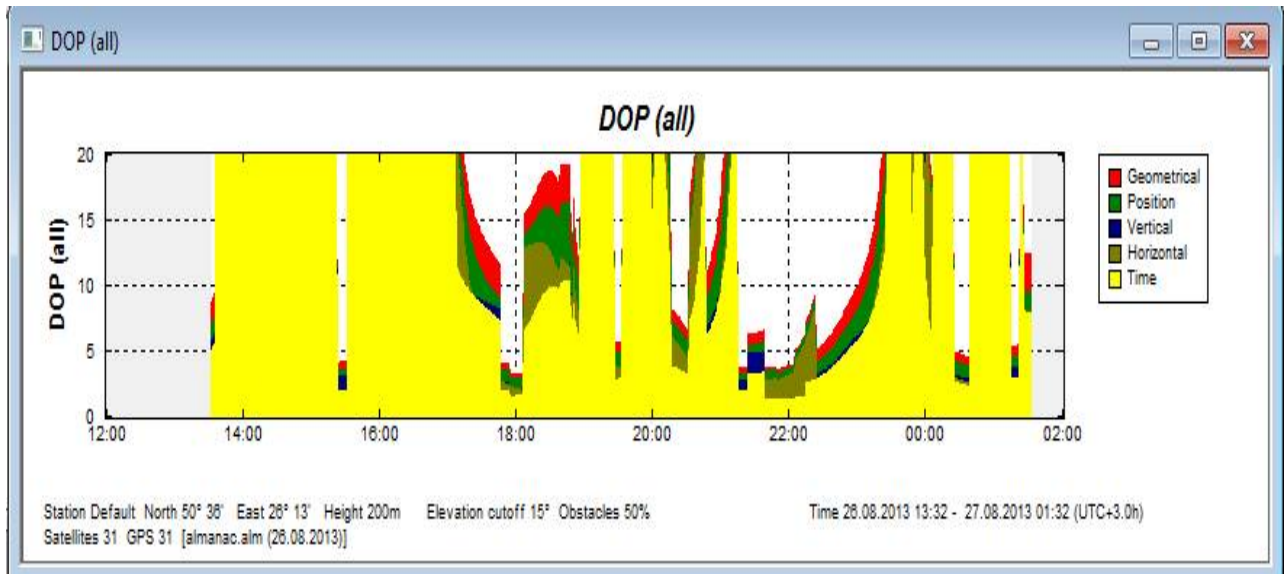


Рисунок 3.12 - Значення критеріїв DOP для точки 007 із закриттям горизонту 50% отримане з програми Planning

Досліджуючи рисунки 3.11 та 3.12 можна зробити висновок, що оптимальним проміжком часу для знімання є період між 17²⁰ та 18²⁰ годинами (місцевий час).

Таблиця 3.9 – Відібрані оптимальні періоди спостережень для знімань

№№ точок	Відсоток закриття небосхилу	Час запланованої сесії спостережень (місцевий час)
001	42	12 ²⁰ -13 ²⁰
002	50	17 ³⁰ -18 ³⁰
003	17	16 ⁰⁰ -17 ⁰⁰
005	37	07 ⁴¹ -08 ⁴¹
006	60	18 ⁰⁰ -19 ⁰⁰
007	50	17 ²⁰ -18 ²⁰

В таблиці 3.9 показано оптимальні періоди спостережень на точках знімань. Критеріями відбору оптимальної години спостереження були значення показників DOP та кількість видимих супутників на точках спостережень.

Результати третього етапу досліджень, де оцінювались відхилення одержаних розв'язків оптимальних сесій (відібраних при попередньому плануванні) від значень прийнятих за еталонні, наведені в таблицях 3.10-3.12.

Таблиця 3.10 – Одержані абсолютні похибки розв'язку базових векторів за відхиленням оптимальних сесій від значень прийнятих за еталонні відносно перманентної станції RVNE

№№ точок	Відсоток закриття небосхилу	Час запланованої сесії спостережень (місцевий час)	СКП, м		
			Планова	Висотна	Просторова
001	42	12 ²⁰ -13 ²⁰	0,018	-0,007	0,020
002	50	17 ³⁰ -18 ³⁰	0,002	-0,005	0,005
003	17	16 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	0,002	-0,004	0,005
005	37	07 ⁴¹ -08 ⁴¹	0,012	-0,004	0,012
006	60	18 ⁰⁰ -19 ⁰⁰	0,025	+0,044	0,050
007	50	17 ²⁰ -18 ²⁰	0,022	+0,014	0,026

Таблиця 3.11 – Одержані абсолютні похибки розв'язку базових векторів за відхиленням оптимальних сесій від значень прийнятих за еталонні відносно перманентної станції RIVN

№№ точок	Відсоток закриття небосхилу	Час запланованої сесії спостережень (місцевий час)	СКП, м		
			Планова	Висотна	Просторова
001	42	12 ²⁰ -13 ²⁰	0,016	-0,002	0,016
002	50	17 ³⁰ -18 ³⁰	0,003	-0,004	0,005
003	17	16 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	0,004	-0,003	0,004
005	37	07 ⁴¹ -08 ⁴¹	0,010	-0,010	0,014
006	60	18 ⁰⁰ -19 ⁰⁰	0,025	+0,046	0,052
007	50	17 ²⁰ -18 ²⁰	0,026	+0,005	0,026

Таблиця 3.12 – Одержані абсолютні похибки розв’язку базових векторів за відхиленням оптимальних сесій від значень прийнятих за еталонні відносно перманентних станцій RVNE та RIVN

№№ точок	Відсоток закриття небосхилу	Час запланованої сесії спостережень (місцевий час)	СКП, м		
			Планова	Висотна	Просторова
001	42	12 ²⁰ -13 ²⁰	0,017	-0,005	0,018
002	50	17 ³⁰ -18 ³⁰	0,002	-0,004	0,005
003	17	16 ⁰⁰ -17 ⁰⁰	0,002	-0,004	0,005
005	37	07 ⁴¹ -08 ⁴¹	0,011	-0,007	0,013
006	60	18 ⁰⁰ -19 ⁰⁰	0,025	+0,045	0,051
007	50	17 ²⁰ -18 ²⁰	0,024	+0,009	0,025

Результати четвертого етапу досліджень, де оцінювались відхилення одержаних розв’язків оптимальних сесій (відібраних при попередньому плануванні) від значень вимірних тахеометром, наведені в таблиці 3.13-3.15.

Таблиця 3.13 – Одержані абсолютні похибки розв’язку базових векторів за відхиленням оптимальних сесій від значень вимірних тахеометром від перманентної станції RVNE

лінія	m _D , м	m _h , м
003-001	0,004	+0,123
003-002	0,002	+0,102
001-002	0,009	-0,023
007-005	-0,004	+0,104
007-006	-0,054	+0,020

Таблиця 3.14 – Одержані абсолютні похибки розв’язку базових векторів за відхиленням оптимальних сесій від значень виміряних тахеометром від перманентної станції RIVN

лінія	m_D , м	m_h , м
003-001	0,006	+0,124
003-002	0,001	+0,098
001-002	0,009	-0,027
007-005	-0,002	+0,101
007-006	-0,054	+0,009

Таблиця 3.15 – Одержані абсолютні похибки розв’язку базових векторів за відхиленням оптимальних сесій від значень виміряних тахеометром від перманентних станцій RVNE та RIVN

лінія	m_D , м	m_h , м
003-001	0,005	+0,123
003-002	0,001	+0,099
001-002	0,009	-0,025
007-005	-0,003	+0,103
007-006	-0,054	+0,015

Оскільки отримано незадовільні результати оцінки точності визначення планового та висотного місцеположення (на рівні десятків сантиметрів) було вирішено перевірити точність вимірювань на сесіях спостережень з мінімальними значеннями DOP. Для цього виконано попереднє планування та обрано оптимальні одногодичні сесії спостережень на кожному з пунктів. Після чого обчислено абсолютні похибки результатів спостережень на даних пунктах у згаданих двох варіантах. Порівняння результатів досліджень при виконанні попереднього планування та даних отриманих у попередніх роботах показано на рисунках 3.13-3.17.

СКП, м



Рисунок 3.13 – Порівняння значень планової середньоквадратичної похибки із застосуванням попереднього планування та без нього від перманентних станцій RIVN та RVNE.

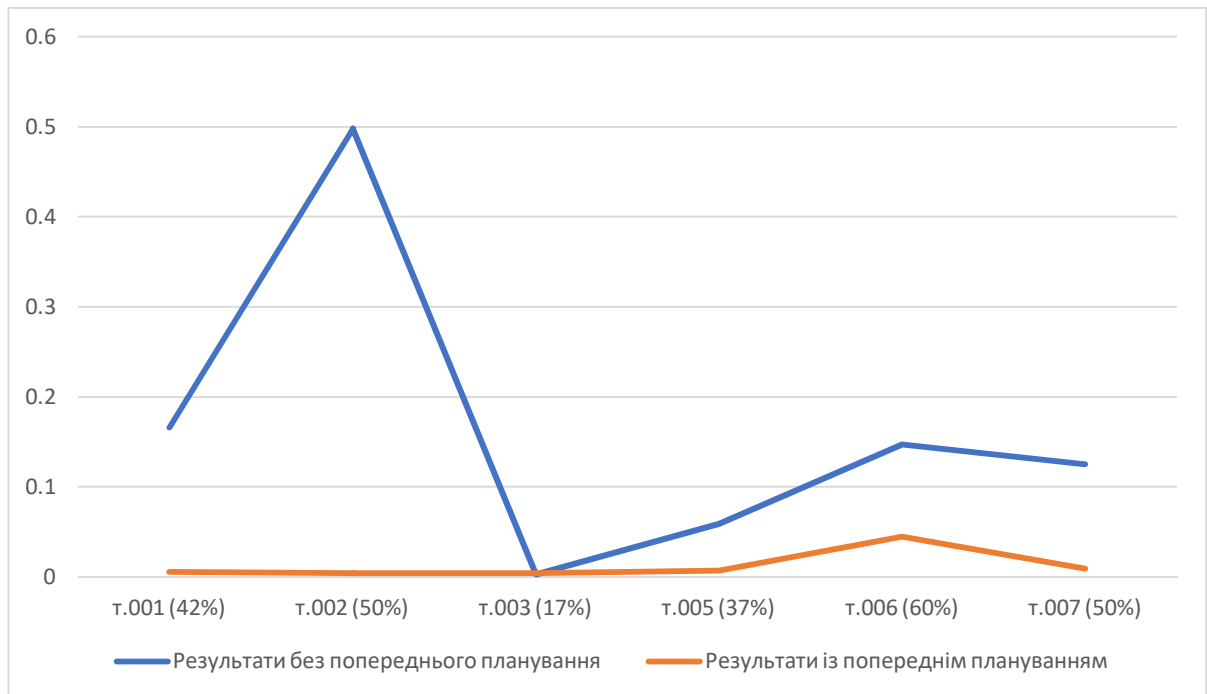


Рисунок 3.14 – Порівняння значень висотної середньоквадратичної похибки із застосуванням попереднього планування та без нього від перманентних станцій RIVN та RVNE.

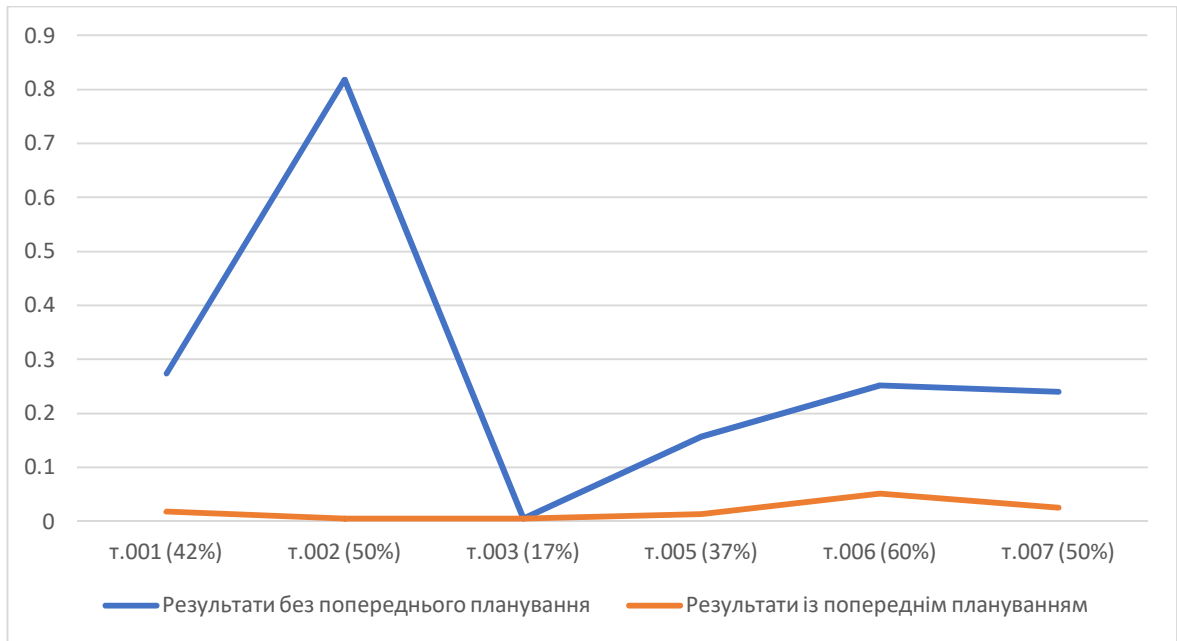


Рисунок 3.15 – Порівняння значень просторової середньоквадратичної похибки із застосуванням попереднього планування та без нього від перманентних станцій RIVN та RVNE.

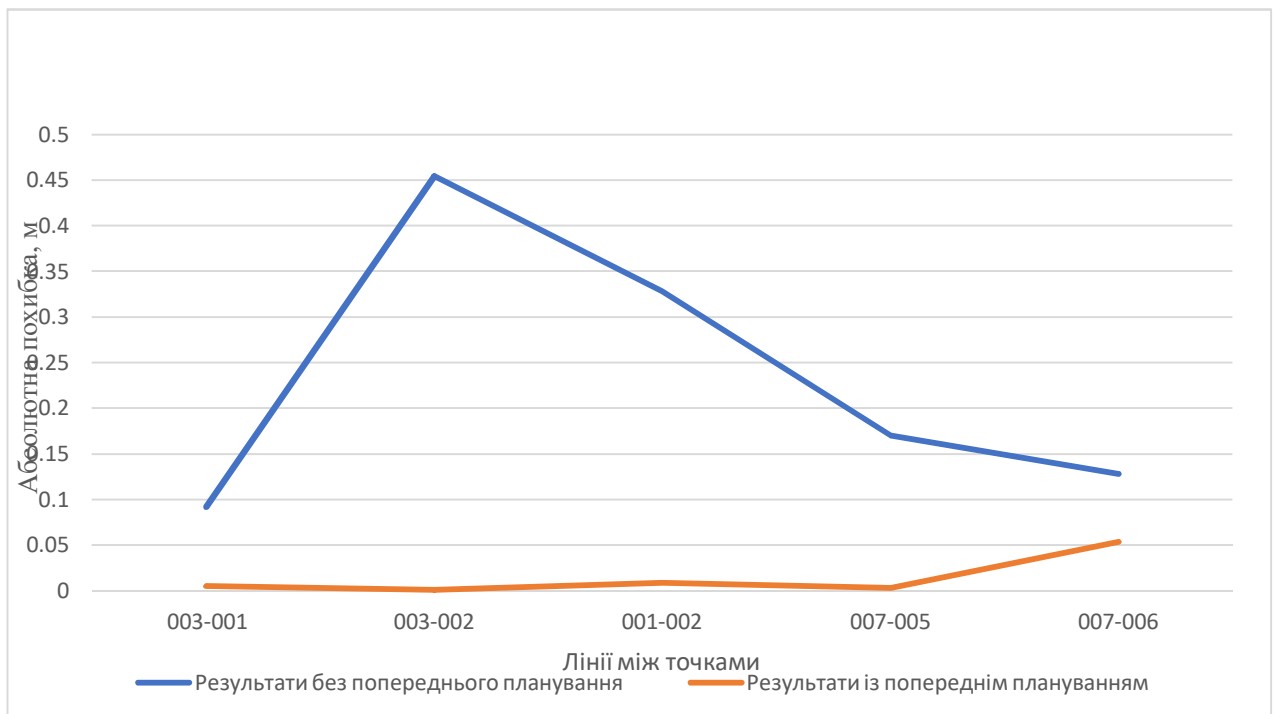


Рисунок 3.16 – Порівняння значень абсолютної похибки довжини розв'язку базових векторів за відхиленням оптимальних сесій від значень виміряних тахеометром із застосуванням попереднього планування та без нього.

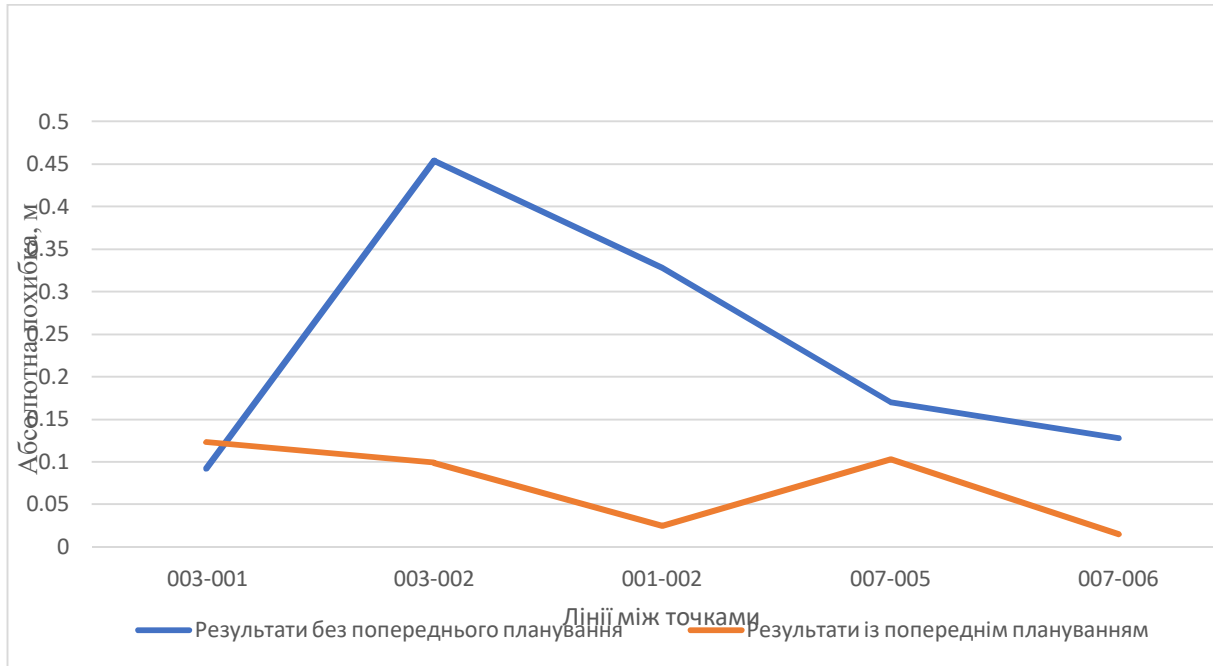


Рисунок 3.17 – Порівняння значень абсолютної похибки перевищень за відхиленням оптимальних сесій від значень виміряних тахеометром із застосуванням попереднього планування та без нього.

Одержані дані порівняння результатів одногодичних сесії спостережень та даних отриманих в результаті попереднього планування дають змогу говорити про значне підвищення точності знімання із застосування програмних продуктів планування GPS-зйомок.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Виконано дослідження точності супутникових визначень просторового положення точок на земній поверхні в умовах обмеженої видимості при спостереженнях тривалістю 1 година. Дослідження виконувалось шляхом оцінки точності результатів спостережень проведених у шести пунктах з різним відсотком закритості горизонту.

Оцінено можливість виконання спостережень та точність просторових визначень в умовах обмеженої видимості горизонту при використанні приймачів, що приймають сигнали лише від супутників системи GPS.

Для проведення експерименту використовувалися два приймачі LeicaGPS1200 та один приймач LeicaTPS1200 SmartStation.

Загальна спостережність на пунктах становила для першої точки із 42 % закриття небосхилу тривалість спостереження становила: точка № 1- 8 год. 46 хв., точка № 2 із 52 % закриття небосхилу мала тривалість спостереження 8 год. 43 хв., точка № 3 мала найменший відсоток закриття небосхилу – 17 %, а час спостереження тривав 5 год. 05 хв., точка № 5 мала 37 % закриття небосхилу з часом спостереження 12 год.06 хв.,а точка № 6 мала найбільший відсоток закриття небосхилу – 60 % і тривалість спостереження була 12 год.07 хв. Остання точка № 7 із відсотком закриття небосхилу 50 % спостерігалася 6 год.17 хв.

На 1-му етапі дослідження наведені інтервали часу розбивалися на годинні сесії для опрацювання. На 2-му етапі для перевірки точності отриманих розв'язків виконувалось порівняння обчислених приростів зі значеннями виміряними тахеометром, за якими аналогічним чином визначалися СКП довжин ліній та перевищень. На 3-му етапі виконувалось порівняння обчислених приростів із оптимальних сесій спостережень (відібраних з попереднього планування) з еталонними значеннями (зрівноважені значення від обох перманентних станцій за весь період спостережень), за якими визначалися СКП довжин ліній та перевищень. На 4-му етапі виконувалось порівняння обчислених приростів із оптимальних сесій спостережень (відібраних з попереднього планування) зі значеннями виміряними тахеометром, за якими визначалися СКП довжин ліній та перевищень.

Оскільки отримано незадовільні результати оцінки точності визначення планового та висотного місцеположення (на рівні десятків сантиметрів) було вирішено перевірити точність вимірювань на сесіях спостережень з мінімальними значеннями DOP. Одержані дані порівняння результатів одногодичних сесій спостережень та даних отриманих в результаті попереднього планування дають змогу говорити про значне підвищення точності знімання із застосування програмних продуктів планування GPS-зйомок.

РОЗДІЛ 4 РЕГРЕСІЙНИЙ АНАЛІЗ ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1. Обчислення коефіцієнту відкритості горизонту $k_{\text{відкр}}$

На даному етапі роботи розраховано критерій відкритості горизонту, за допомогою якого можна оцінити вплив перешкод на точність результатів спостережень. Обчислення коефіцієнту відкритості горизонту $k_{\text{відкр}}$ проводилось за формулою

$$k_{\text{відкр}} = \sum_{i=1}^n p_{\text{відкр}}^i = \sum_{i=1}^n (p_{\text{трив}}^i \cdot \sin Z_i), \quad (4.2)$$

де $i = \overline{1, n}$, n – кількість секторів, на які розділено небосхил.

Для врахування тривалості видимості супутника у певному секторі небесної сфери протягом доби, необхідно встановити вагу тривалості перебування супутників у i -му секторі $p_{\text{трив}}$, яку пропонуємо обчислити за формулою:

$$p_{\text{трив}}^i = \frac{T_{\text{сект}}^i}{T_{\text{макс}}}, \quad (4.3)$$

де $p_{\text{трив}}^i$ – вага тривалості перебування супутників у i -му секторі; $T_{\text{сект}}^i$ – тривалість перебування супутників у i -му секторі, хв/добу; $T_{\text{макс}}$ – максимальне значення тривалості перебування супутників у одному із всіх секторів, хв/добу.

Нами визначено тривалість перебування супутників у кожному 10-ти градусному секторі небесної сфери для досліджувальних станції та обчислено вагу $p_{\text{трив}}$ для кожного сектора.

Розрахунок тривалості видимості супутника у певному секторі небесної сфери протягом доби та вага тривалості перебування супутників у i -му секторі показано в таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Тривалість видимості супутників за секторами

Сектор небесної сфери, °	Тривалість перебування супутників, хв/добу	Вага тривалості перебування супутників у секторі
1-10	15	0,01
11-20	15	0,01
21-30	30	0,03
31-40	278	0,27
41-50	442	0,44
51-60	448	0,44
61-70	626	0,62
71-80	474	0,47
80-90	412	0,41
91-100	377	0,37
101-110	318	0,31
111-120	267	0,26
121-130	208	0,21
131-140	219	0,22
141-150	232	0,23
151-160	104	0,10
161-170	218	0,21
171-180	590	0,58
181-190	338	0,33
191-200	280	0,28
201-210	353	0,35
211-220	341	0,34
221-230	400	0,39
231-240	347	0,34
241-250	296	0,29
251-260	327	0,32
261-270	334	0,33
271-280	340	0,34
281-290	680	0,67
291-300	1014	1,00

Продовження таблиці 4.1

301-310	411	0,41
311-320	244	0,24
321-330	117	0,12
331-340	24	0,02
341-350	12	0,01
351-360	10	0,01

На основі формули (4.2) обчислено значення коефіцієнта відкритості горизонту для досліджуваних 5 точок (рис. 3.2). Розмір сектора прийнято 10° . Мінімальне можливе значення коефіцієнта відкритості за таких умов становить 0 при $Z=0^\circ$, а максимальне – 10,99 при $Z=90^\circ$. Оскільки, при спостереженнях не рекомендується використовувати сигнали від супутників на висоті менше 10° , а в нашому випадку, для підвищення точності отриманих результатів, 15° то максимальне "корисне" значення коефіцієнта відкритості становить 10,31 при $Z=75^\circ$. За абрисами перешкод визначено середню зенітну відстань відкритості горизонту для кожного сектора. Для 5 досліджуваних точок обчислені значення коефіцієнта відкритості знаходяться у межах від 5,17 до 10,31. Для точки 001 із закриттям горизонту 42% $k_{\text{відкр}}$ становить 7,74, для точки 002 із закриттям небосхилу 50 % $k_{\text{відкр}} - 6,82$, точка 003 із закриттям горизонту – 17% коефіцієнт відкритості відповідає значенню – 10,31, точка 005 із закриттям 37% - 8,46, точка 006 із закриттям горизонту 60 % - $k_{\text{відкр}}$ становить 5,16, для точки 007 із закриттям небосхилу 50 % $k_{\text{відкр}} - 6,82$. Найменше значення $k_{\text{відкр}}$ на точці 006 із найбільшим відсотком закриття горизонту, відповідно, найбільше значення $k_{\text{відкр}}$ на точці 003 із найменшим закриттям небосхилу.

4.2. Перевірка існуючих формул попередньої оцінки точності

Для визначення попередньої оцінки точності просторового, планового та висотного положення було використано формули та залежності в працях А. Ю. Охрімчук, П. Г. Черняги, О. Є. Янчука[1]. Ними було досліджено, що залежність СКП просторового, планового та висотного положення від

коефіцієнта відкритості горизонту та тривалості вимірювань найкраще описує функція виду

$$m = a + b \cdot t + c \cdot k_{\text{відкр}} + d \cdot t \cdot k_{\text{відкр}}, \quad (4.4)$$

де m – СКП місцеположення кінцевої точки базової лінії відносно початкової, мм; a, b, c, d – постійні невідомі коефіцієнти; t – тривалість спостережень, год.

Розв'язавши систему рівнянь (4.4) за умовою способу найменших квадратів у роботі [1] отримано наступні рівняння регресії для обчислення СКП просторового $m_{\text{прост}}$, планового $m_{\text{план}}$ та висотного $m_{\text{вис}}$ положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової:

$$m_{\text{прост}} = (35,62 \pm 2,27) - (5,33 \pm 1,72) \cdot t - (2,09 \pm 0,23) \cdot k_{\text{відкр}} + (0,33 \pm 0,17) \cdot t \cdot k_{\text{відкр}}, \quad (4.5)$$

$$m_{\text{план}} = (23,85 \pm 2,07) - (5,94 \pm 1,57) \cdot t - (1,49 \pm 0,21) \cdot k_{\text{відкр}} + (0,46 \pm 0,16) \cdot t \cdot k_{\text{відкр}}, \quad (4.6)$$

$$m_{\text{вис}} = (25,39 \pm 2,27) - (1,55 \pm 1,71) \cdot t - (1,41 \pm 0,23) \cdot k_{\text{відкр}} - (0,004 \pm 0,17) \cdot t \cdot k_{\text{відкр}}. \quad (4.7)$$

Підставимо у формули (4.5-4.7) значення $k_{\text{відкр}}$ для досліджувальних точок розрахованих у попередньому пункті. Отримані результати показано в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Отримані значення СКП просторового $m_{\text{прост}}$, планового $m_{\text{план}}$ та висотного $m_{\text{вис}}$ положення точок

№№ точок	Відсоток закриття небосхилу	$m_{\text{план}}$	$m_{\text{вис}}$	$m_{\text{прост}}$
1	42	0,00994	0,012929	0,016671
2	50	0,010884	0,014221	0,018284
3	17	0,006979	0,008876	0,011611
5	37	0,009194	0,011908	0,015396
6	60	0,012587	0,016553	0,021194
7	50	0,010884	0,014221	0,018284

Порівняємо одержані результати з СКП вимірювань без виконання попереднього планування (рис. 4.1 - 4.6) та з виконанням попереднього планування.

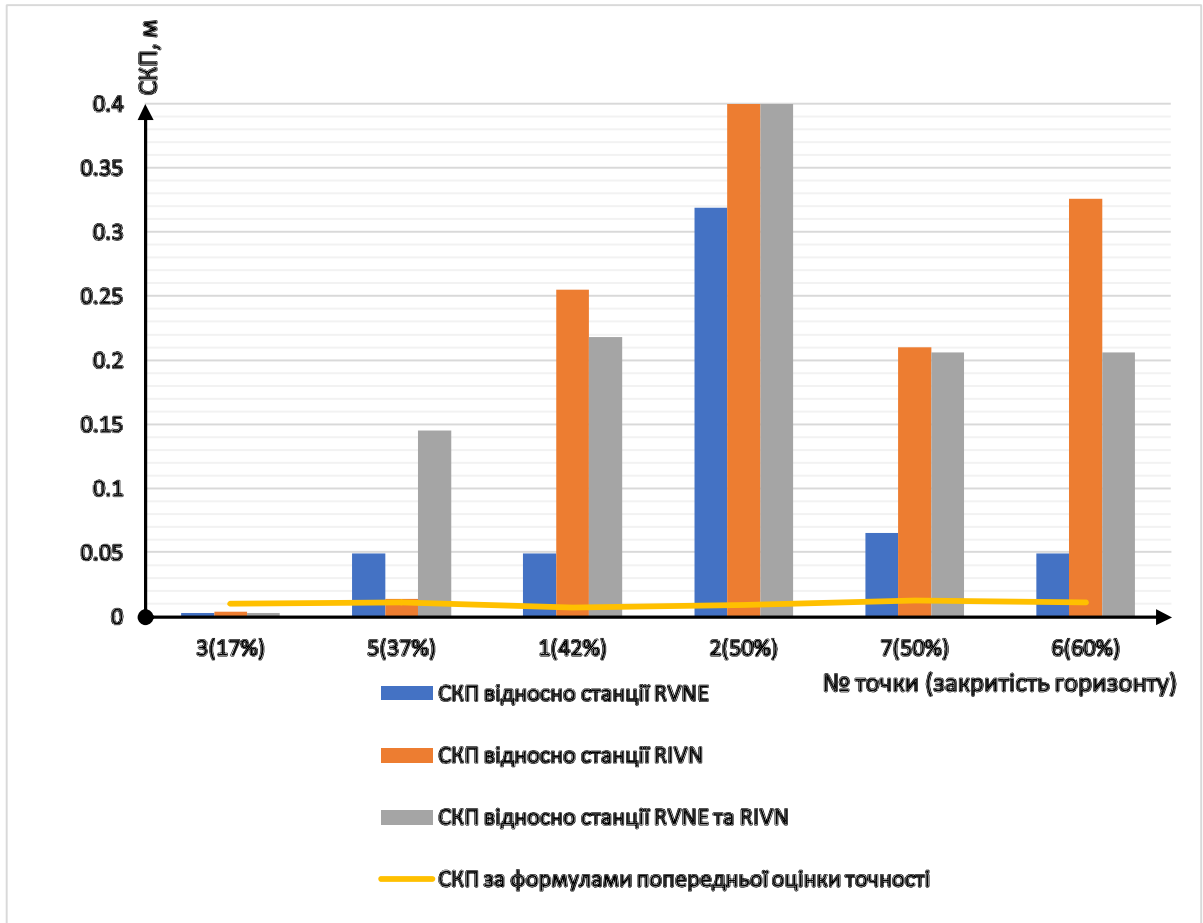


Рисунок 4.1 - СКП планового положення кінцевої точки базової лінії відносно перманентних станцій при тривалості сесії 1 година

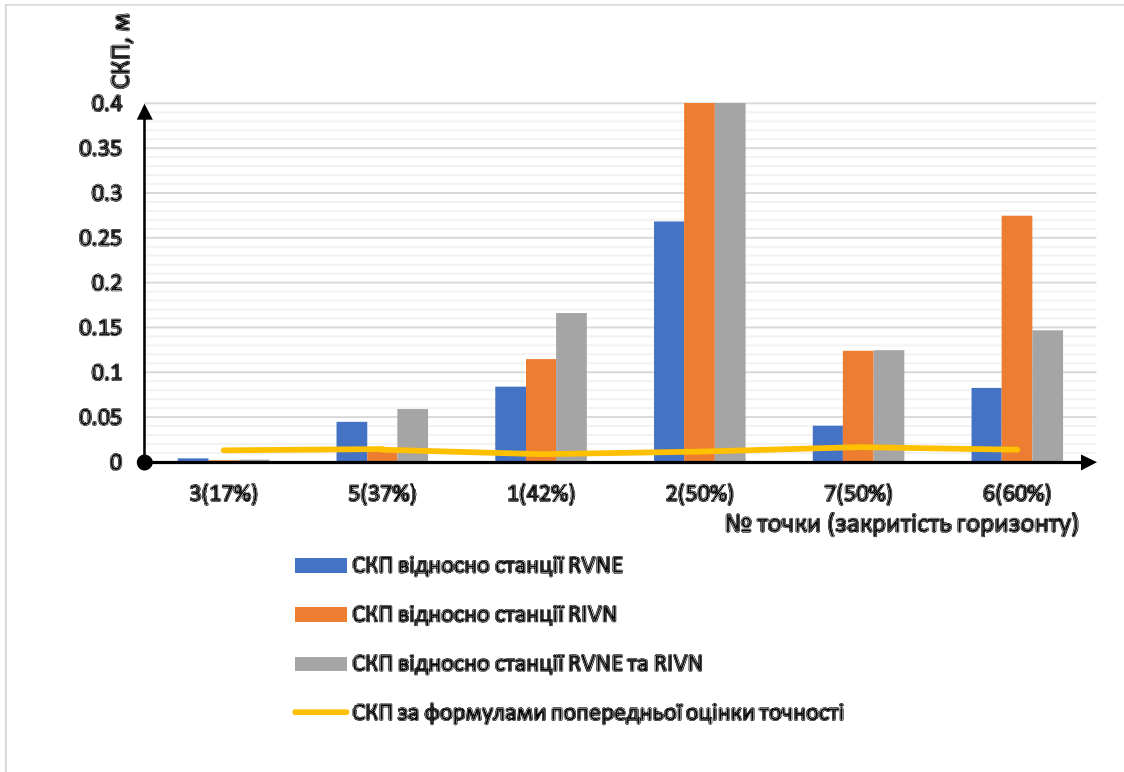


Рисунок 4.2 - СКП висотного положення кінцевої точки базової лінії відносно перманентних станцій при тривалості сесії 1 година

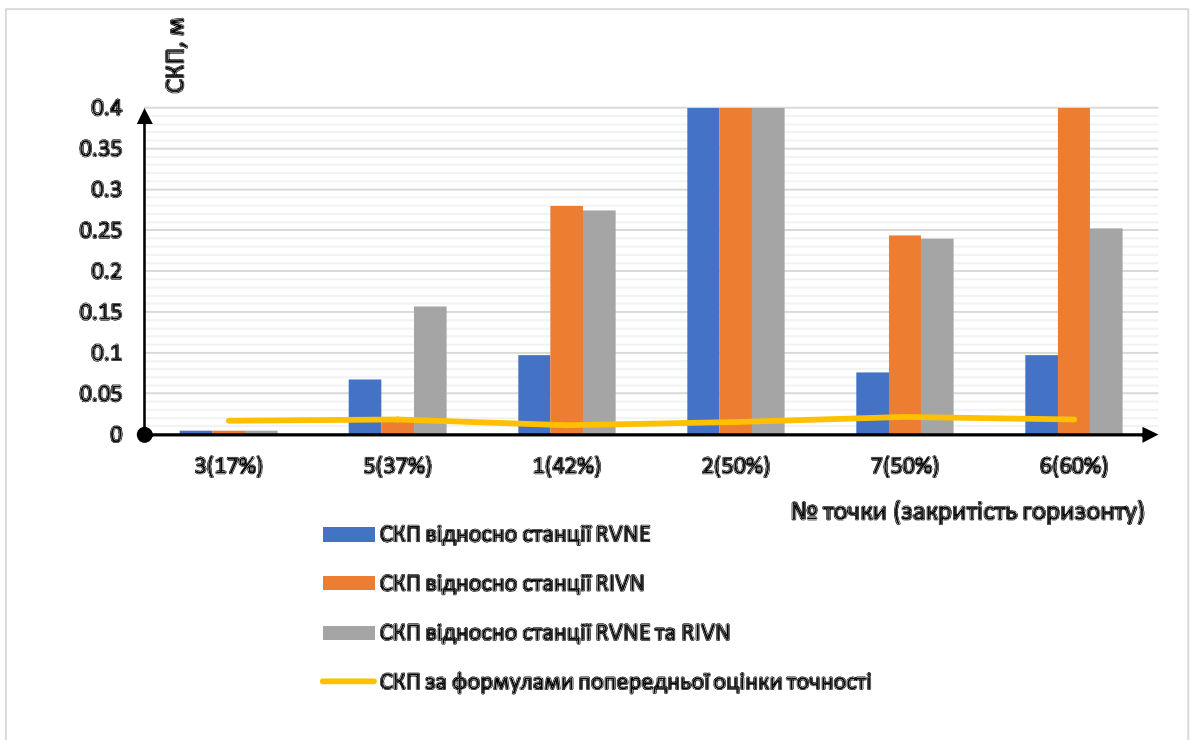


Рисунок 4.3 - СКП просторового положення кінцевої точки базової лінії відносно перманентних станцій при тривалості сесії 1 година

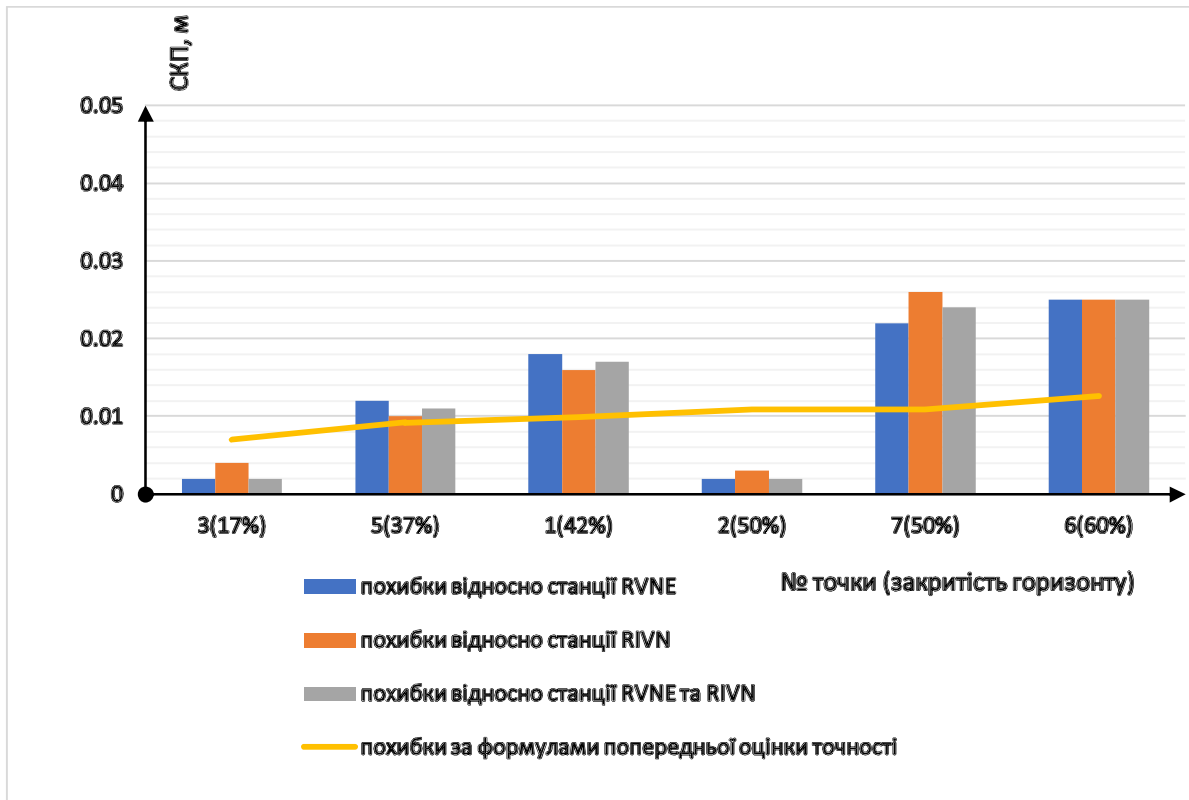


Рисунок 4.4 - Похибки планового положення кінцевої точки базової лінії відносно перманентних станцій при тривалості сесії 1 година з урахуванням попереднього планування

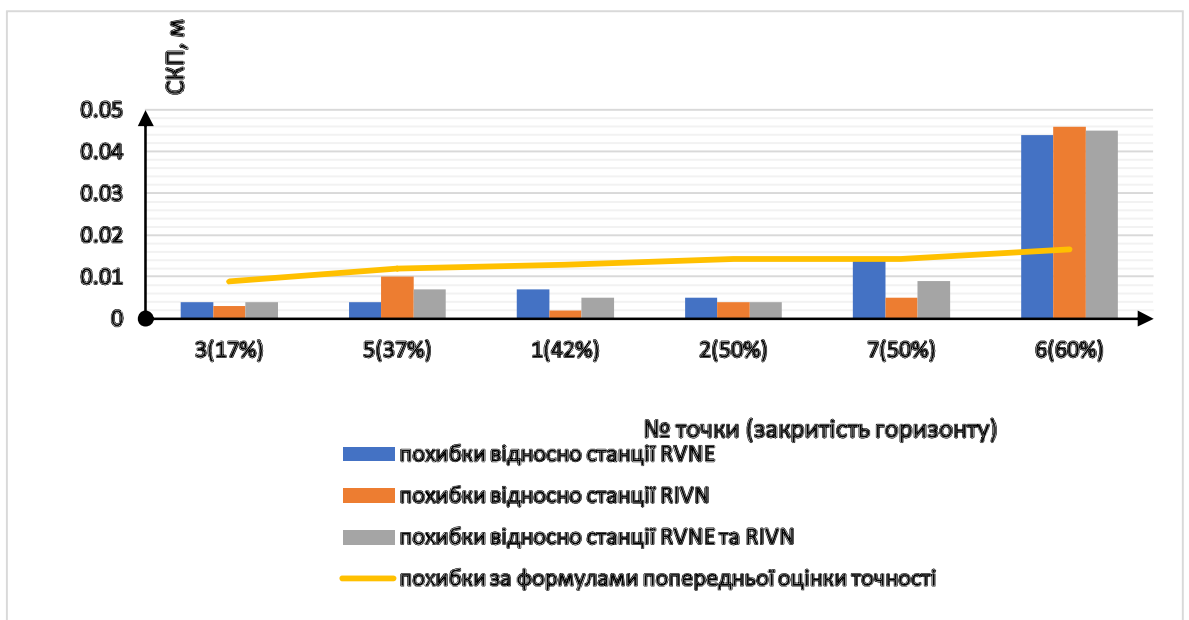


Рисунок 4.5 - Похибки висотного положення кінцевої точки базової лінії відносно перманентних станцій при тривалості сесії 1 година з урахуванням попереднього планування

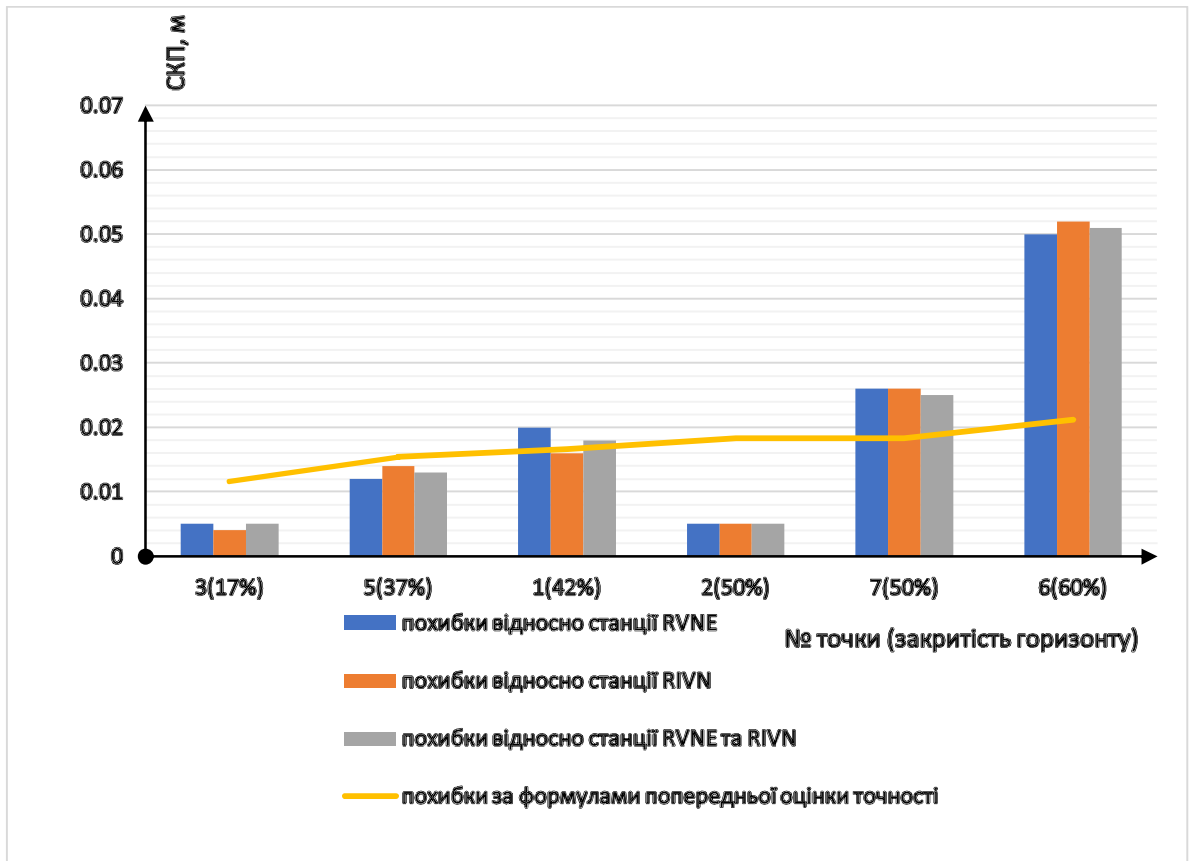


Рисунок 4.6 - Похибки просторового положення кінцевої точки базової лінії відносно перманентних станцій при тривалості сесії 1 година з урахуванням попереднього планування

Як видно з представлених графіків точність отримана за формулами (4.5-4.7) є занадто завищена. Лише результати отримані з урахуванням попереднього планування сходяться із даними отриманими за формулами попередньої оцінки точності. Це передбачалося ще в самій роботі [1] де згадувалося, що основним недоліком, отриманих рівнянь регресії є те, що вони отримані на основі змодельованих даних перешкод для проходження сигналів супутників, а також, як у них зазначалося, вони не враховували вплив інших похибок, що виникають при реальних спостереженнях. Тому виведемо подібні залежності за одержаними емпіричними результатами.

4.3. Одержання формул для попередньої оцінки точності

За нашими результатами вимірів складено 159 рівнянь виду (4.5-4.7) для кожної досліджуваної залежності.

Оскільки в нашому дослідженні значення величини t стало та рівне 1 год величини коефіцієнтів b та d рівні 0. Тому використаємо скорочений тип представлення рівнянь регресії:

$$m_{\text{прост}} = a + c * k_{\text{відкр}} \quad (4.8)$$

$$m_{\text{план}} = a + c * k_{\text{відкр}} \quad (4.9)$$

$$m_{\text{вис}} = a + c * k_{\text{відкр}} \quad (4.10)$$

У результаті обчислень одержуємо рівняння регресії виду:

$$m_{\text{прост}} = (0,45 \pm 0,11) - (0,04 \pm 0,01) \times k_{\text{відкр}} \quad (4.11)$$

$$m_{\text{план}} = (0,32 \pm 0,09) - (0,03 \pm 0,01) \times k_{\text{відкр}} \quad (4.12)$$

$$m_{\text{вис}} = (0,18 \pm 0,07) - (0,02 \pm 0,01) \times k_{\text{відкр}} \quad (4.13)$$

Наведені рівняння (4.11)-4-13) одержані для тривалості сесій спостереження в 1 годину, довжин базових ліній 4 км та коефіцієнта відкритості від 5,17 до 10,61.

Порівняння отриманих розв'язків виведених рівнянь регресії з СКП точок знімачь графічн відображено на рисунках 4.7-4.9

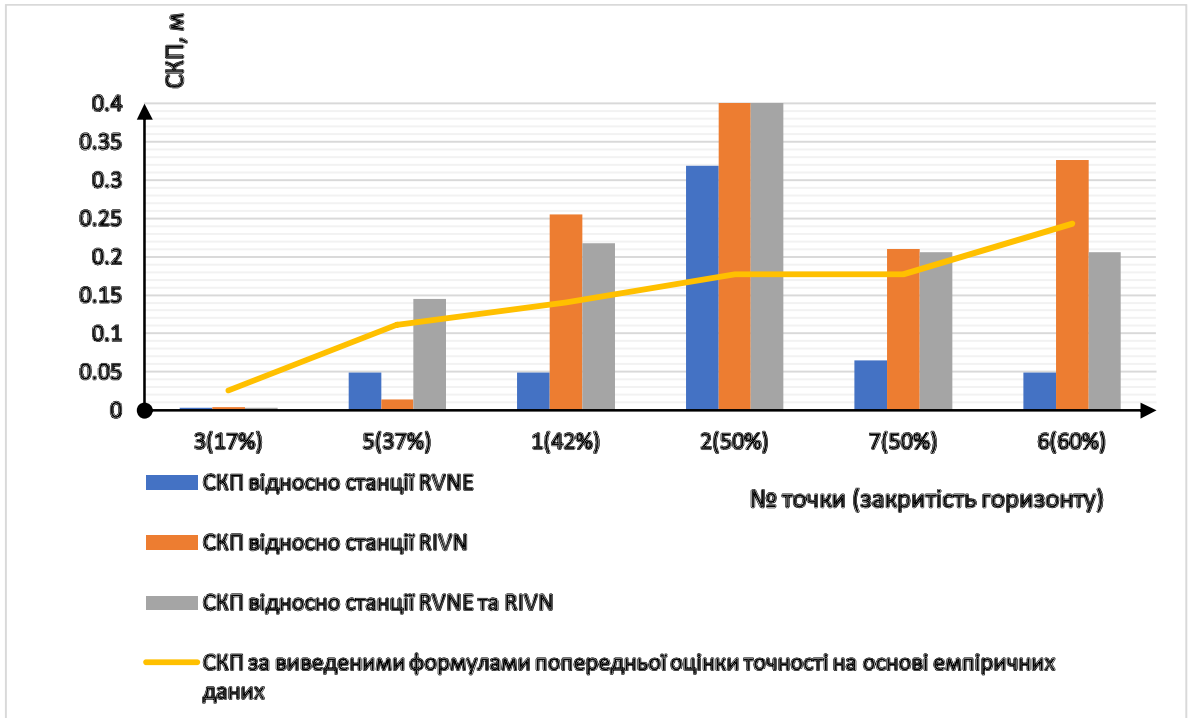


Рисунок 4.7 - СКП просторового положення кінцевої точки базової лінії відносно перманентних станцій при тривалості сесії 1 година та виведеними формулами попередньої оцінки точності.

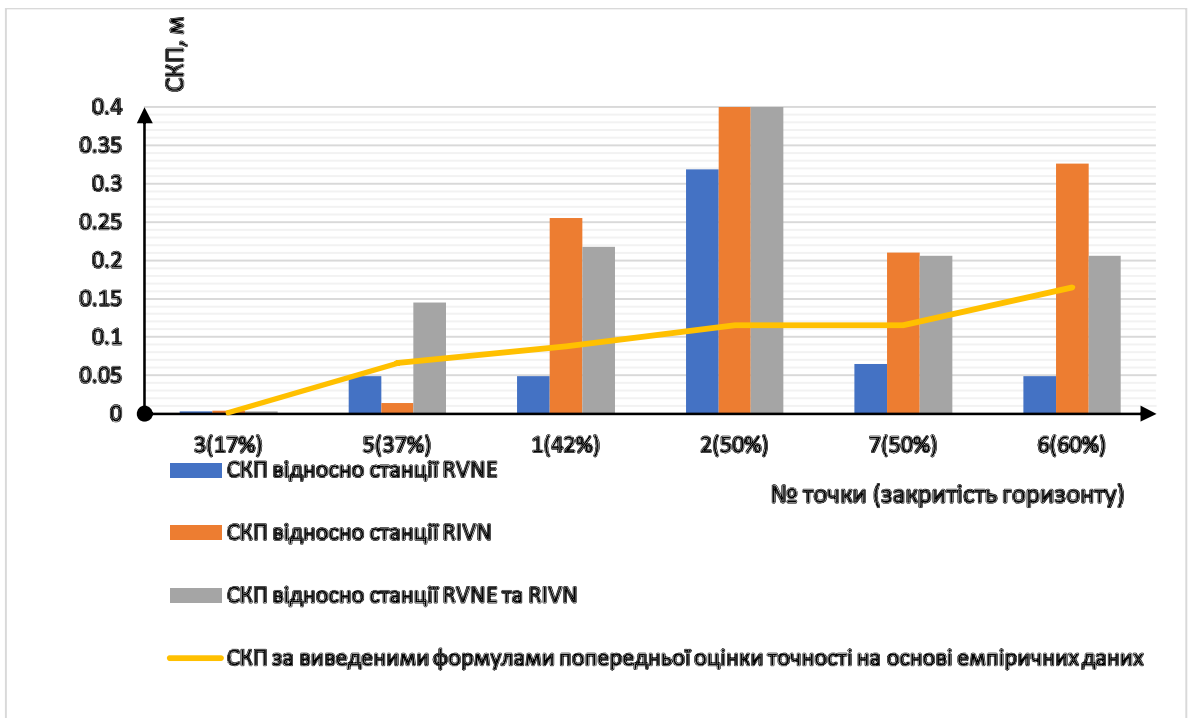


Рисунок 4.8 - СКП планового положення кінцевої точки базової лінії відносно перманентних станцій при тривалості сесії 1 година та виведеними формулами попередньої оцінки точності.

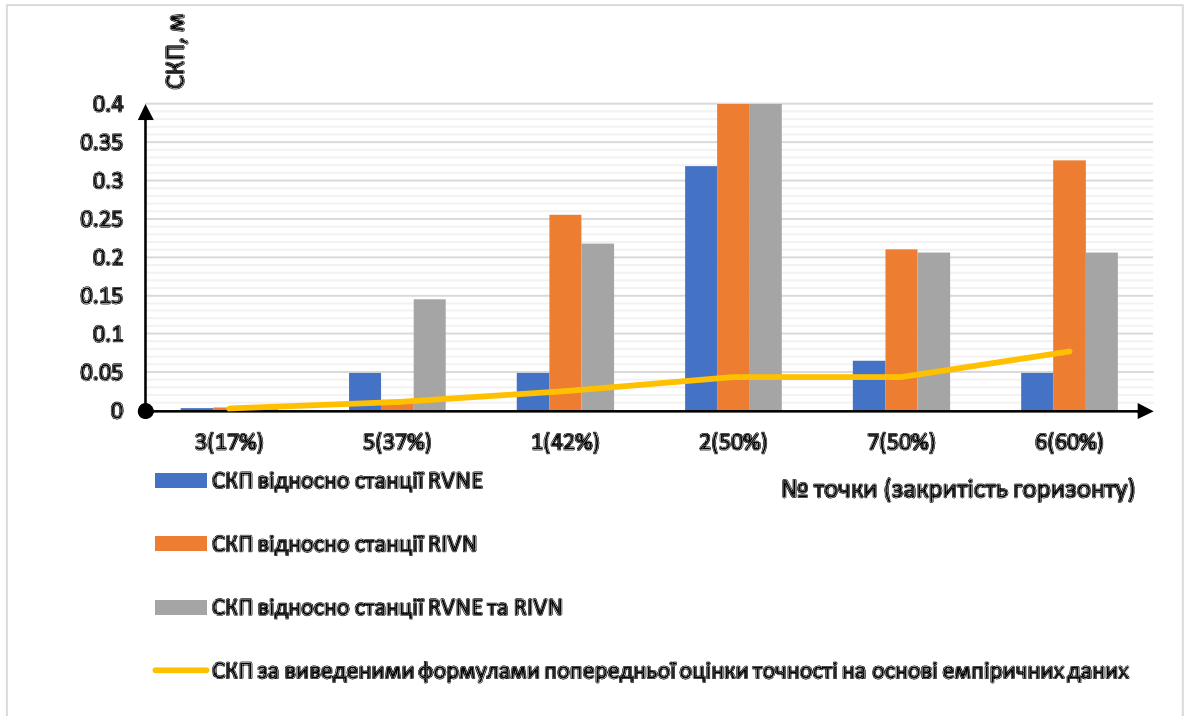


Рисунок 4.9 - СКП просторового положення кінцевої точки базової лінії відносно перманентних станцій при тривалості сесії 1 година та виведеними формулами попередньої оцінки точності.

Як видно з представлених графіків точність визначення СКП за виведеними формулами має пропорційну залежність від відсотку закриття горизонту, чим більше закриття небосхилу, тим, відповідно, і збільшується значення середньоквадратичної похибки.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

Розраховано критерій відкритості горизонту, за допомогою якого можна оцінити вплив перешкод на точність результатів спостережень. Обчислено значення коефіцієнта відкритості горизонту для досліджуваних 5 точок. Розмір

сектора прийнято 10° . Мінімальне можливе значення коефіцієнта відкритості за таких умов становить 0 при $Z=0^\circ$, а максимальне – 10,99 при $Z=90^\circ$. Для 5 досліджуваних точок обчислені значення коефіцієнта відкритості знаходяться у межах від 5,17 до 10,31.

Обраховано похибки висотного положення кінцевої точки базової лінії відносно перманентних станцій при тривалості сесії 1 година з урахуванням попереднього планування.

Точність, яка була отримана є занадто завищена. Лише результати отримані з урахуванням попереднього планування сходяться із даними отриманими за формулами попередньої оцінки точності.

За результатами вимірів складено 159 рівнянь для кожної досліджуваної залежності. Розв'язавши систему рівнянь за умовою способу найменших квадратів отримано рівняння регресії для обчислення СКП просторового $m_{\text{прост}}$, планового $m_{\text{план}}$ та висотного $m_{\text{вис}}$ положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Досліджено історію розвитку супутникових радіонавігаційних систем, яка розпочалася в 1960-70-х роках.

2. Розглянуто основні технічні характеристики супутникових апаратів 3-ох систем, і їхня кількість, яка виведена на орбіту: GPS NAVSTAR (31 супутник при запланованих 36-ти), ГЛОНАСС (24 супутника), Galileo (24 при запланованих 30-ти).

3. Проаналізовано використання супутникових методів в умовах обмеженої видимості горизонту як вітчизняного так і закордонного досвіду. Як показало дослідження можливості використання супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості на даний час досліджено не достатньо.

4. Виконано дослідження точності супутникових визначень просторового положення точок на земній поверхні в умовах обмеженої видимості при спостереженнях тривалістю 1 година.

5. Оцінено можливість виконання спостережень та точність просторових визначень в умовах обмеженої видимості горизонту при використанні приймачів, що приймають сигнали лише від супутників системи GPS.

6. Загальна спостережність на пунктах становила для першої точки із 42 % закриття небосхилу тривалість спостереження становила: точка № 1- 8 год. 46 хв., точка № 2 із 52 % закриття небосхилу мала тривалість спостереження 8 год. 43 хв., точка № 3 мала найменший відсоток закриття небосхилу – 17 %, а час спостереження тривав 5 год. 05 хв., точка № 5 мала 37 % закриття небосхилу з часом спостереження 12 год. 06 хв., а точка № 6 мала найбільший відсоток закриття небосхилу – 60 % і тривалість спостереження була 12 год. 07 хв. Остання точка № 7 із відсотком закриття небосхилу 50 % спостерігалася 6 год. 17 хв.

7. Оскільки отримано незадовільні результати оцінки точності визначення планового та висотного місцеположення (на рівні десятків сантиметрів) було вирішено перевірити точність вимірювань на сесіях

спостережень з мінімальними значеннями DOP. Одержані дані порівняння результатів одногодних сесії спостережень та даних отриманих в результаті попереднього планування дають змогу говорити про значне підвищення точності знімання із застосування програмних продуктів планування GPS-зйомок.

8. Розраховано критерій відкритості горизонту, за допомогою якого можна оцінити вплив перешкод на точність результатів спостережень.

9. Обчислено значення коефіцієнта відкритості горизонту для досліджуваних 5 точок. Розмір сектора прийнято 10° . Мінімальне можливе значення коефіцієнта відкритості за таких умов становить 0 при $Z=0^\circ$, а максимальне – 10,99 при $Z=90^\circ$. Для 5 досліджуваних точок обчислені значення коефіцієнта відкритості знаходяться у межах від 5,17 до 10,31.

10. Обраховано похибки висотного положення кінцевої точки базової лінії відносно перманентних станцій при тривалості сесії 1 година з урахуванням попереднього планування.

11. За результатами вимірів складено 159 рівнянь виду (4.5-4.7) для кожної досліджуваної залежності. Розв'язавши систему рівнянь за умовою способу найменших квадратів отримано рівняння регресії для обчислення СКП просторового $m_{\text{прост}}$, планового $m_{\text{план}}$ та висотного $m_{\text{вис}}$ положення кінцевої точки базової лінії відносно початкової.

12. **Отже, для отримання задовільних результатів СКП**

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Охрімчук А. Ю. Оцінка точності визначення складових векторів залежно від тривалості GPS-спостережень та обмеження видимості небосхилу / А. Ю. Охрімчук, П. Г. Черняга, О. Є. Янчук // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2011. – №75. – С. 17-25.
2. Янчук О. Є. Дослідження точності GPS-спостережень в умовах обмеженої видимості горизонту / О. Є. Янчук // Інженерна геодезія: наук.-техн. зб. – К.: КНУБА, 2010. – Вип. 55. – С. 224–235.
3. Грицюк Т. Ю. До питання оцінки точності вимірювання перевищень методом GPS / Т. Ю. Грицюк, К. Р. Третяк // Геодезія, картографія та аерофотознімання: міжвід. наук.-техн. зб. – Л., 2007. – № 69. – С. 78–82.
4. Черняга П.Г., Бялик І.М., Янчук Р.М. Супутникова геодезія. Навчальний посібник. – Рівне: НУВГП, 2013. – 222 с.
5. Третяк К. Р. До питання тривалості GPS-вимірів при побудові державних мереж 1-го та 2-го класів / К. Р. Третяк, Т. М. Шушкова // Геодезія, картографія та аерофотознімання: міжвід. наук.-техн. зб. – Л., 2001. – № 61. – С. 124–132
6. Третяк К. Р. Оптимізація кінематичних геодезичних мереж: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : спец. 05.24.01 "Геодезія" / К. Р. Третяк. – Л., 2004. – 36 с.
7. Янчук О.Є. Емпіричні дослідження можливості виконання супутникових спостережень в умовах обмеженої видимості небосхилу / О.Є. Янчук // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування: зб. наук. пр. – Рівне, 2014. – Вип. 3 (67). – С. 287–292.
8. Антонович К. М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. В 2 т. Т. 1. Монография / К. М. Антонович; ГОУ ВПО "Сибирская государственная геодезическая академия". – М.: ФГУП "Картгеоцентр", 2005. – 334 с
9. Баран П. Досвід інженерно-геодезичних спостережень за зсувами території міського житлового масиву з висотними будинками / П. Баран, В.

Сушко, В. Чорнокінь // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: зб. наук. пр. – Л., 2000. – С. 132–139

10. Дмитрів О. П. Оцінка території 30 кілометрової зони РАЕС за умов нечіткої вихідної інформації / О. П. Дмитрів // Вісник Рівненського державного технічного університету: зб. наук. пр. – Рівне, 2002. – Вип. 1 (14). – С. 185–190.

11. Дронов А. В. Исследование точности определения с помощью GPS высотных отметок в хвойном лесу [Електронний ресурс] / А. В. Дронов, О. Н. Помогаев. – Режим доступу: http://www.navgeocom.ru/projects/5700_forest/index.htm.

12. Волоसेцький Б. Геодезичний моніторинг динаміки долинно-руслового рельєфу рік Карпатського регіону / Б. Волосецький, А. Якушев, В. Зубач // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: зб. наук. пр. – Л., 2010. – Вип. 1(19). – С. 154–158

13. Малярчук С. Вибір місць закладання пунктів GPS-спостережень на території проммайданчиків для розвитку мереж згущення / С. Малярчук, П. Черняга, Р. Янчук // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: зб. наук. пр. – Л., 2000. – С. 196–200.

14. Нурутдинов К. Создание геодезических сетей с использованием GPS. [Електронний ресурс] / К. Нурутдинов. – Режим доступу: <http://www.geogarant.ru/cgi-bin/content.pl?p=67>.

15. Псевдолиты – GPS спутники на земле [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://gpsgsm.ru/?id=321>.

16. Состав группировки КНС ГЛОНАСС [Електронний ресурс]. – Режим доступу: www.glonassianc.rsa.ru/pls/htmldb/f?p=201:20:2695960381571775::NO

17. Тревого І. Точність і ефективність вимірювання взірцевих базисів в сучасних умовах із застосуванням GPS / І. Тревого, Я. Костецька // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: зб. наук. пр. – Л., 2000. – С. 169–174.

18. Третьак К. До питання підготовки інструкції "Побудова геодезичних мереж методом GPS" / К. Третьак, І. Романишин // Зб. мат. V Міжнар. наук.-

техн. симпозиуму "Геоінформаційний моніторинг навколишнього середовища: GPS і GIS-технології". – Львів, 2000. – С.16–17.

19. Цюпак І. Дослідження точності визначення координат пунктів за фазовими GPS-вимірами / І. Цюпак, А. Дульцев, Ф. Заблоцький // Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва: зб. наук. пр. – Л., 1999. – С. 30–33.

20. Cobb S. Pseudolites: enhancing GPS with ground-based transmitters / S. Cobb, M. O'Connor // GPS World. – 1998. – Vol. 9, № 3. – P. 55–60.

21. Яндров И. А. Возможности использования спутниковых методов в процессе строительства / И. А. Яндров // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. – М.: МИИГАиК, 2007. – № 5. – С. 36–43.

22. Dai L. Pseudo-satellite applications in deformation monitoring / L. Dai, J. Wang, C. Rizos, S. Han // GPS Solutions. – 2002. – Vol. 5, № 3. – P. 80–87.

23. Cui Y. J. Autonomous Vehicle Positioning With GPS in Urban Canyon Environments / Y. J. Cui, S. S. Ge // IEEE Transactions on Robotics and Automation. – 2003. – Vol. 19, № 1. – P. 15–25.

24. Fouque C. Vehicle localization in urban canyons using geo-referenced data and few GNSS satellites [Електронний ресурс] / C. Fouque, P. Bonnifait. – Режим доступу: <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/44/52/68/PDF/article-final.pdf>.

25. Kijewski-Correa T. The Height of Precision / T. Kijewski-Correa, A. Kareem // GPS World. – 2003. – Vol. 14, № 9. – P. 20–34.

26. Santerre R. New tools for urban GPS surveyors / R. Santerre, M. Boulianne // GPS World. – 1995. – Vol. 6, № 2. – P. 49–54.

27. [Електронний ресурс]. – Режим доступу http://geoterrace.lp.edu.ua/geodetic_monitoring

28. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://lurkmore.to/%D0%93%D0%9B%D0%9E%D0%9D%D0%90%D0%A1%D0%A1>

29. Состав группировки КНС ГЛОНАСС. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.glonass-ianc.rsa.ru/pls/html/db/f?p=201:20:2695960381571775::NO:::>

30. Васильев Е. А., Панкрушин В. К. Обзор и анализ методических положений способов определения и прогнозирования движений и деформаций по геодезическим наблюдениям // Изв. ВУЗов. Геодезия и аэрофотосъемка. – М.: МИИГАиК, 1987. – № 6. – С. 45-53.

31. Волков В. И., В. И. Волков, А. А. Лопанчук, В. М. Протасов, Е. М. Севергин Геодинамика районов строительства атомных станций: структура, методы и прикладные аспекты изучения // Тезисы докладов 92 международного симпозиума "Геодезия-сейсмология: деформация и прогноз". – Ереван, 1989. – С. 57.