

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Львівська Політехніка»

ПІШКО Юлія Романівна



УДК 528.2

**АКТУАЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МЕТОДИКИ ВІДНОСНИХ
СУПУТНИКОВИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ
ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОПОРНИХ ГЕОДЕЗИЧНИХ МЕРЕЖ**

05.24.01 – Геодезія, фотограмметрія та картографія

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Національному університеті «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, м. Львів.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Костецька Яромира Михайлівна,
Національний університет «Львівська політехніка»,
професор кафедри інженерної геодезії

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент **Шульц Роман Володимирович**, декан факультету геоінформаційних систем і управління територіями Київського національного університету будівництва і архітектури, м. Київ

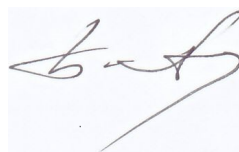
кандидат технічних наук, **Заєць Іван Михайлович**, заступник директора Науково-дослідного інституту геодезії і картографії, м. Київ

Захист відбудеться «26» травня 2016 р. о 9³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.12 у Національному університеті «Львівська політехніка» (79013, Львів-13, вул. Карпінського, 6, ауд. 502, II навчальний корпус).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» (79013, м. Львів, вул. Професорська, 1).

Автореферат розіслано «14» квітня 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доцент



Б. Б. Паляниця

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В наш час для розв'язання широкого спектру інженерно-геодезичних задач, зокрема, створення та реконструкції державних, інженерно-геодезичних мереж, мереж, які використовуються в геодинаміці та в наукових дослідженнях інших галузей, застосовуються технології, які пов'язані з використанням глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС).

За останні роки відбулись істотні зміни в такій глобальній навігаційній супутниковій системі, як NAVSTAR GPS: збільшилась кількість функціонуючих супутників, суттєво підвищилась стабільність частоти генераторів супутників, використовуються нові алгоритми вирішення багатозначності фазових вимірювань, зросла кількість наземних станцій стеження і т.п. Це збільшило кількість інформації для визначення координат пунктів, підвищило точність часової синхронізації та точність прогнозування ефемерид супутників, а також точність остаточних ефемерид.

Крім системи GPS функціонує система ГЛОНАСС. Активно створюються і інші системи, зокрема, Galileo і Compass. І вже досить розповсюдженими є двосистемні і багатосистемні приймачі, які можуть одночасно приймати сигнали супутників двох або і більше систем. Оскільки спільне використання GPS та ГЛОНАСС є одним з перспективних шляхів розвитку ГНСС, то актуальним є питання впливу на точність визначення положення пунктів супутникових мереж, використання сигналів супутників цих двох функціонуючих систем.

Незважаючи на широке використання ГНСС для створення геодезичних мереж, до цього часу не розроблена методика встановлення потрібної тривалості сеансів спостережень, яка забезпечить необхідну точність визначення положення пунктів. Також важливим є регламентування і інших параметрів, таких як: типи ефемерид, які використовують при опрацюванні результатів спостережень, обмеження висоти розташування супутників над горизонтом (кут відсічки).

Вплив різних факторів на точність визначення положення приймачів досліджувало багато вчених як вітчизняних, так і закордонних. Це, насамперед, К. Третьак, Ф. Заблоцький, С. Савчук, Я. Костецька, І. Тревого, П. Баран, І. Цюпак, П. Черняга, О. Хода та зарубіжні вчені А. Геніке, Г. Побединский, К. Антонович, Е. Ключин, G. Seeber, B. Hofmann-Wellenhof, J. Śledzinski, J. Januszewski, J. Lamparski, C. Specht, T. Soler, P. Psimoulis, P. Häkli, A. Leick, H. Lichtenegger, J. Collins та інші.

Дисертаційна робота присвячена низці актуальних питань, а саме: встановленню тривалості сеансів спостережень ще на стадії проектування мереж, зокрема встановленню залежності точності визначення довжин векторів від віддалі між одночасно працюючими приймачами і від тривалості сеансів спостережень, а також дослідженню точності визначення положення пунктів геодезичних мереж, створених із застосуванням ГНСС. Вирішення цих питань дасть змогу осучаснити методику та оптимізувати процес створення геодезичних мереж з допомогою ГНСС.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри інженерної геодезії Національного університету "Львівська політехніка" "Модернізація технологій інженерно-геодезичних робіт та геодезичний моніторинг інженерних споруд та

геодинамічних явищ", одним із розділів якого є "Модернізація методики створення опорних геодезичних мереж".

Автор брала участь у виконанні наукової теми кафедри інженерної геодезії Національного університету "Львівська політехніка" "Вдосконалення технології виконання інженерно-геодезичних робіт та моніторинг геодинамічних явищ і споруд" (№ ДР 0114U005458). Ці дослідження відповідають положенням Постанови Кабінету Міністрів України № 646 від 7 серпня 2013 р. "Деякі питання реалізації частини першої статті 12 Закону України "Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність".

Мета і завдання дослідження. Основною метою дослідження є: отримання формул для оцінки точності довжин векторів та положення пунктів геодезичних мереж, створених з допомогою ГНСС, які дадуть змогу визначати тривалість сеансів спостережень на стадії проектування мереж; дослідити вплив розвитку ГНСС за останні роки на точність результатів супутникових спостережень.

Для досягнення поставленої мети були поставлені такі завдання:

- дослідити залежність точності визначення довжин векторів від тривалості сеансів спостережень, віддалі між одночасно працюючими приймачами та типу приймачів і встановити функціональні залежності між цими параметрами.
- дослідити залежність точності визначення положення пунктів мереж з різними довжинами сторін від тривалості сеансів спостережень та кількості векторів, що сходяться на пункті. В результаті отримати формули визначення СКП положення пунктів супутникових мереж, враховуючи вказані фактори.
- дослідити вплив на точність супутникових мереж при різній тривалості сеансів спостережень:
 - спільного використання супутників двох систем GPS та ГЛОНАСС;
 - зміни значення кута відсічки при спостереженнях дво- і одночастотними приймачами, які приймають сигнали супутників тільки системи GPS та супутників двох систем GPS та ГЛОНАСС;
 - типу ефемерид (бортові, остаточні, швидкі та ін.), які стали доступними в наш час для опрацювання супутникових спостережень.

Об'єкт та предмет дослідження. Об'єктом дослідження є вектори та мережі, створені із застосуванням відносних супутникових спостережень.

Предметом дослідження є методика відносних супутникових спостережень дво- і одночастотними приймачами, враховуючи теперішній стан розвитку ГНСС.

Виконані дослідження відповідають паспорту спеціальності 05.24.01 Геодезія, фотограмметрія і картографія, а саме вони відносяться до пункту "Основні геодезичні роботи на суходолі – засоби і методи виконання вимірів".

Методи дослідження. Проведені дослідження ґрунтуються на опрацюванні результатів супутникових спостережень, отриманих на перманентних станціях. При цьому використані теорії похибок вимірювань, математичного опрацювання геодезичних вимірів і мереж, теорію математичної статистики та точні методи апроксимації. Аналіз отриманих результатів дослідження послужив обґрунтуванням висновків та розробки рекомендацій для їх використання в практичній діяльності геодезичних підприємств.

Наукова новизна одержаних результатів дисертаційної роботи полягає в тому що:

- встановлені нові функціональні залежності точності визначення довжин векторів від тривалості сеансів спостережень дво- та одночастотними приймачами та віддалі між одночасно працюючими приймачами, які дадуть змогу визначати СКП довжин векторів зі значно вищою точністю, порівняно з формулами, отриманими раніше іншими авторами, а також відповідають сучасному стану супутникових систем.

- вперше при дослідженні точності визначення положення пунктів розглядається сукупність таких параметрів, як тривалість сеансів спостережень, довжини та кількість векторів, які сходяться на пункті, що оцінюється. За результатами дослідження виведені формули СКП положення пунктів супутникових мереж.

- обґрунтовано ефективність спільного використання сигналів супутників двох систем GPS та ГЛОНАСС при зменшенні тривалості сеансів спостережень.

- встановлено такі параметри при визначенні координат пунктів, враховуючи сучасний стан супутникових технологій, як:

- оптимальне значення кута відсічки при використанні супутників двох систем та різній тривалості спостережень дво- та одночастотними приймачами;

- типи ефемерид для опрацювання результатів спостережень різної тривалості як дво-, так і односистемними приймачами у мережах з різним діапазоном довжин векторів. Вперше встановлено, що при постопрацюванні результатів спостережень супутників двох систем GPS та ГЛОНАСС, найвищу точність пунктів можна отримати при використанні остаточних ефемерид системи GPS і бортових ефемерид системи ГЛОНАСС.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що отримано функціональні залежності точності визначення довжин векторів від тривалості спостережень та віддалей між одночасно працюючими приймачами, а також залежності точності визначення положення пунктів мереж від тривалості сеансів, довжин та кількості векторів, що сходяться на пункті, який оцінюється. Вони дають змогу при проектуванні геодезичних мереж встановлювати потрібну тривалість сеансів супутникових спостережень для досягнення заданої точності мереж, тобто такої, яка вимагається нормативними документами або замовником.

Підтверджена доцільність використання сигналів супутників двох систем при тривалості сеансів спостережень 3 год і менше для підвищення точності визначення положення пунктів.

Встановлено оптимальні значення кута відсічки при виконанні сеансів спостережень різної тривалості дво- і односистемними дво- та одночастотними приймачами, а також типи ефемерид, які доцільно використовувати опрацьовуючи результати спостережень, отримані дво- і односистемними приймачами.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у ДП "Закарпатський геодезичний центр" для створення опорних геодезичних мереж із застосуванням глобальних супутникових систем.

Отримані нами функціональні залежності точності визначення довжин векторів від тривалості спостережень та віддалей між одночасно працюючими приймачами впроваджено у навчальний курс "Технології ГНСС в інженерній геодезії" для

студентів стаціонарної та заочної форм навчання освітньо-кваліфікаційного рівня "Магістр" спеціальності 8.08010101 "Геодезія" [12].

Основні положення, що виносяться на захист:

- формули залежності точності визначення довжин векторів від тривалості спостережень та віддалей між одночасно працюючими двосистемними як одно-, так і двочастотними приймачами;

- функціональні залежності точності визначення положення пунктів в мережах від тривалості спостережень двосистемними двочастотними приймачами, довжин та кількості векторів, що сходяться на пункті, який оцінюється;

- вибір параметрів методики відносних статичних спостережень та опрацювання отриманих результатів, а саме: тип приймача (дво- чи односистемний), кут відсічки, тип ефемерид.

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати досліджень дисертаційної роботи опубліковані автором у одноосібній статті [5] і у десяти статтях у співавторстві [1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

В статтях автору дисертації належать опрацювання сеансів супутникових спостережень різної тривалості, а також:

- для одно- і двочастотних приймачів встановлення функціональних залежностей СКП довжин векторів від тривалості спостережень та віддалі між приймачами [3, 5, 8, 10].

- аналіз отриманих результатів для з'ясування впливу зміни тривалості сеансів спостережень, довжин векторів на точність планових координат пунктів у супутникових мережах [4].

- аналіз впливу використання сигналів супутників систем NAVSTAR GPS і ГЛОНАСС на точність визначення положення пунктів супутникових мереж [7, 9, 11].

- аналіз впливу використаних типів ефемерид при опрацюванні результатів спостережень на точність визначення положення пунктів супутникових мереж, в тому числі тих, які стали доступними тільки в останні роки [2].

- аналіз впливу зміни кута відсічки на точність визначення положення пунктів супутникових мереж при різній тривалості спостережень приймачами, які приймають сигнали тільки системи GPS та разом двох систем GPS і ГЛОНАСС [1, 6].

Апробація результатів дослідження. Основні теоретичні положення та експериментальні результати дисертаційної роботи апробовані на:

- Всеукраїнському семінарі "GNSS/GPS-методи в інженерній геодезії, геомоніторингу, кадастрі та землеустрої" (Україна, Київ, 2010);

- V Міжнародній науково-практичній конференції "Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні" (Україна, Ужгород, 2010);

- 17-й Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва" Геофорум – 2012 (Україна, Львів-Яворів);

- IV Міжнародній науковій конференції студентів, аспірантів та молодих вчених "Геодезія, архітектура та будівництво 2011" (GAC-2011) (Україна, Львів);

- VI Міжнародній науково-практичній конференції "Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні" (Україна, Ужгород, 2012);

- 18-й Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва" Геофорум – 2013 (Україна, Львів-Яворів);
- 19-й Міжнародній науково-технічній конференції "Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва" Геофорум – 2014 (Україна, Львів-Яворів);
- Всеукраїнській науково-практичній конференції "Геодезія. Землеустрій. Природокористування: присвяченій пам'яті П.Г. Черняги" (Україна, Рівне, 2014);
- VII Міжнародній науково-практичній конференції "Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні" (Україна, Ужгород, 2014);
- Науково-методичних семінарах кафедри інженерної геодезії.

Публікації. Результати досліджень за темою дисертації містяться в 11 публікаціях, із них п'ять статей (у тому числі одна одноосібна [5] та одна [1] в наукометричному виданні) у фахових виданнях, затверджених ВАК України [2, 3, 4]. Одна стаття [6] у збірнику "Известия Национального Университета Архитектуры и Строительства Армении", який за рішенням ВАК Російської Федерації входить у перелік періодичних видань для публікацій основних результатів дисертаційних робіт. Одна стаття у журналі [7]. Три статті [8, 9, 10] у збірниках матеріалів міжнародних конференцій і одна [11] – у збірнику тез конференції.

Структура та обсяг дисертації. Робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг дисертації становить 207 сторінок, із них: 17 сторінок списку використаних джерел із 161 найменуванням, 25 сторінок – додатки, які містять допоміжні матеріали та 5 сторінок з громіздкими таблицями та рисунками. Крім того, робота містить 43 ілюстрації та 48 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **Вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, сформульовано мету, завдання і методи досліджень, висвітлено наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів, зазначено особистий внесок здобувача стосовно основних положень дисертації, наведено структуру та обсяг дисертаційної роботи.

У **першому розділі "Критичний аналіз технічної і наукової літератури за темою дисертації"** проаналізовані основні джерела помилок, які впливають на результати ГНСС-спостережень та причини виникнення, а також можливості їх усунення. Крім того, розглянуто нормативні документи різних країн. За результатами аналізу цих документів визначені основні параметри методики створення супутникових мереж. З'ясовано, що поставлені вимоги до проектування супутникових мереж, планування і організації проведення супутникових спостережень та опрацювання отриманих результатів, в основному, враховують однакові показники: тривалість спостережень, типи приймачів і віддалі між ними, значення кута відсічки тощо. Але встановлені вимоги до значень цих показників не є однаковими, що звичайно зумовлює необхідність їх актуалізації.

Проведено аналіз наукових публікацій, в яких розглянуті питання впливу на точність визначення довжин векторів та положення пунктів різних факторів, а саме: тривалості сеансів спостережень, віддалей між приймачами, типів приймачів, зміни кута відсічки, різних типів ефемерид тощо. В результаті з'ясована необхідність

проведення подальших досліджень, зокрема, у питаннях встановлення залежності точності визначення довжин векторів від відстані між одночасно працюючими приймачами (дво- та одночастотними) та від тривалості спостережень з врахуванням можливості спільного використання систем ГЛОНАСС та GPS. Крім того, виявлено певні невирішені питання у встановленні залежності точності визначення положення пунктів супутникових мереж від тривалості спостережень і від довжин векторів, а також інших факторів.

Отже, враховуючи сучасний стан супутникових технологій та перспективи їх розвитку виникає необхідність проведення нових досліджень для з'ясування впливу різних чинників на якість вимірювань.

Розглянуті у першому розділі питання дали змогу встановити основні параметри методики супутникових спостережень, які визначають їхню точність, з'ясувати актуальність подальших досліджень, вибрати їх пріоритетні напрямки, сформулювати і обґрунтувати завдання, які необхідно виконати для вирішення поставлених задач.

У другому розділі **"Визначення точності довжин векторів та положення пунктів в мережах, створених з допомогою ГНСС"** описані дослідження, за результатами яких встановлені для двох типів приймачів (дво- та одночастотних) функціональні залежності точності визначення довжин векторів від віддалей між одночасно працюючими ГНСС-приймачами та від тривалості сеансів спостережень. Також розглянуто питання встановлення точності визначення положення пунктів мереж, створених з використанням двосистемних приймачів. Виведено функціональні залежності точності визначення положення пунктів від тривалості сеансу спостережень двочастотними приймачами, довжин та кількості векторів, що сходяться на пункті мережі, точність положення якого оцінюється.

Дослідження залежності точності визначення довжин векторів від зміни інтервалу часу спостережень та довжин векторів, а також типу приймачів, якими виконують вимірювання (дво- чи одночастотні), виконані з метою оптимального проектування вимірів в ГНСС-мережах та складаються з декількох етапів.

На першому етапі досліджували залежність точності визначення довжин векторів від їх довжин та від тривалості спостережень двочастотними GPS-приймачами, в результаті отримана функціональна залежність між цими параметрами. На другому – виконані дослідження з метою уточнення функціональної залежності. Для цього використано результати спостережень як дво-, так і одночастотними односистемними приймачами. При цьому було опрацьовано 120 векторів, тоді як на першому етапі лише 34. Таким чином отримано формули визначення середніх квадратичних помилок (СКП) довжин векторів супутникових мереж для одно- та двочастотних приймачів, в яких враховано вказані вище фактори. На третьому етапі виконана апробація отриманих нами функціональних залежностей точності визначення довжин векторів від тривалості спостережень та довжин векторів для двосистемних дво- та одночастотних приймачів.

Крім того, виконаний також порівняльний аналіз формул, виведених іншими дослідниками. Отже, було встановлено, що в більшості випадків підтверджується залежність точності визначення довжин векторів від тривалості спостережень. Однак залишилися невирішеними питання встановлення точності вимірювання довжин векторів одночастотними приймачами, а також двосистемними приймачами,

оскільки функціональні залежності, отримані тільки для однієї супутникової системи GPS та ще перед її модернізацією. Це є основною причиною необхідності оновлення функціональних залежностей, які дадуть змогу визначати СКП довжин векторів зі значно вищою точністю, порівняно з формулами, отриманими раніше іншими авторами та відповідатимуть сучасному стану супутникових систем.

Для того, щоб вивести нові формули, використано результати спостережень двочастотними GPS-приймачами за дві доби на 14 перманентних станціях, які розташовані на території США. Із цих даних для дослідження вибрано тільки ті, за якими можна отримати параметри векторів довжиною від 5 до 20 км. Таких векторів виявилось 34. Варто зауважити, що в цьому дослідженні і в подальших, виконувалася перевірка RINEX-файлів, зокрема аналізувався показник GDOP, визначалася мінімальна кількість супутників, сигнали яких приймалися. Отже, за періоди, за які нами бралися результати спостережень, геометрія розташування супутників була задовільною при кількості супутників не меншій шести.

Для кожного з вибраних векторів сформовано чотири сеанси тривалістю 12 год, вісім сеансів тривалістю 6 год, 16 – тривалістю 3 год, 24 – 2 год і 48 сеансів тривалістю 1 год. Загалом сформовано 100 сеансів, які опрацьовано програмним забезпеченням Trimble Geomatic Office та отримано довжини усіх векторів. Далі їхні значення порівнювалися з векторами, довжини яких обчислені за геоцентричними координатами, взятими, як і результати спостережень з WEB-сторінки www.sorac.ucsd.edu. Точність цих векторів є істотно вищою від точності векторів, отриманих за результатами супутникових спостережень. Різниці довжин, обчислених за результатами спостережень та за координатами, вважалися істинними помилками векторів, одержаними з супутникових спостережень, що дало змогу обчислити середні квадратичні помилки довжин всіх векторів за вказаної вище тривалості сеансів.

Виконано двофакторний кореляційний аналіз для встановлення залежності СКП довжини вектора M від його довжини S і тривалості спостережень T , за результатами якого отримано загальне рівняння регресії:

$$M = 0,069 \cdot S - 0,134 \cdot T + 2,58, \quad (1)$$

де S – довжина вектора, км; T – тривалість сеансу, год; M – СКП, мм.

Зважаючи на те, що точність формули (1) нас не задовольнила, вирішено дослідження в даному напрямку продовжити, збільшивши кількість використовуваних результатів спостережень. З цією метою, а також для встановлення залежності точності визначення довжин векторів від їх довжин та тривалості сеансу спостережень одночастотними GPS-приймачами, використано результати спостережень з 16 перманентних станцій за 20 діб, які також взяті з WEB-сторінки www.sorac.ucsd.edu. З вибраних спостережень сформовано мережу (мережа №1), яка складається з 120 векторів, довжини яких змінюються від 1 до 25 км.

Перед опрацюванням даних, яке виконувалося в цьому випадку програмним забезпеченням Trimble Business Center, встановлювалися також такі параметри, як мінімальна висота розташування супутників над горизонтом – 10° та тип ефемерид – бортові. Інтервал реєстрації супутникових сигналів становить 30 секунд. Це значення є актуальним для всіх виконаних нами досліджень.

Методика опрацювання результатів спостережень та визначення середніх квадратичних помилок довжин векторів є по суті такою ж, як і на першому етапі виконання досліджень. Отже сформовано 340 сеансів, а саме: 20 сеансів тривалістю 24 год, 40 сеансів тривалістю 12 год та по 50 сеансів тривалістю 6, 3, 2, 1 і 0,5 год дво- та одночастотними GPS-приймачами.

Одержані значення СКП довжин векторів використано для встановлення функціональних залежностей точності визначення довжин векторів від довжин векторів та тривалості сеансів спостережень дво- і одночастотними приймачами. Виведення формул є аналогічним як на першому етапі досліджень.

Після детального аналізу залежності СКП довжин векторів від віддалі між приймачами та залежності СКП довжин векторів від тривалості спостережень встановлено, що доцільніше виконати двофакторний кореляційний аналіз між СКП та віддалями між приймачами і натуральним логарифмом тривалості сеансів. В результаті були отримані рівняння множинної регресії:

- для спостережень двочастотними приймачами:

$$M = 0,0820 \cdot S - 0,9073 \cdot \ln(T) + 3,3, \quad (2)$$

- для спостережень одночастотними приймачами:

$$M = 0,0981 \cdot S - 0,9729 \cdot \ln(T) + 4,0. \quad (3)$$

Для більш об'єктивної оцінки отриманих нами залежностей, значення СКП довжин векторів при кожній тривалості сеансів спостережень, які були обчислені за рівняннями (2) та (3), порівнювались з СКП, отриманими за результатами спостережень. Обчислені середні квадратичні значення різниць (δ) вказують на точність формул (2) і (3). Ці значення для кожної тривалості сеансів спостережень наведені в табл. 1, а також діапазон зміни значень різниць, отриманих між СКП, обчисленими за формулами та визначеними за результатами спостережень.

Таблиця 1

Результати порівняння СКП, отриманих за результатами спостережень та обчислених за формулами (2) та (3), мм

| Показники | Тривалість спостережень, год | | | | | | |
|------------------------------------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 24 | 12 | 6 | 3 | 2 | 1 | 0,5 |
| Двочастотні приймачі | | | | | | | |
| Макс. ¹ додатна різниця | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,9 | 0,7 |
| Макс. від'ємна різниця | -0,3 | -0,5 | -0,5 | -0,3 | -0,5 | -1,0 | -1,1 |
| δ | 0,18 | 0,24 | 0,22 | 0,27 | 0,27 | 0,34 | 0,40 |
| Одночастотні приймачі | | | | | | | |
| Макс. додатна різниця | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,7 |
| Макс. від'ємна різниця | -0,6 | -0,5 | -0,6 | -0,4 | -0,4 | -0,7 | -0,8 |
| δ | 0,26 | 0,28 | 0,31 | 0,34 | 0,34 | 0,40 | 0,40 |

Обчислені середні квадратичні різниці для сеансів від 6 до 0,5 год не перевищують 10% значення СКП, отриманих за результатами спостережень. І тільки при тривалостях сеансів 12 і 24 год їх значення є більшими.

¹ Макс.- Максимальна

Точність визначення довжин векторів за формулами погіршується зі зменшенням тривалості спостережень для всіх діапазонів віддалей між пунктами. Крім того, значення СКП довжин векторів, зростають зі збільшенням довжин векторів.

Сьогодні поряд з такою системою як NAVSTAR GPS функціонує ще одна система ГЛОНАСС. Оскільки попередні дослідження виконувалися з використанням результатів GPS-спостережень, тому актуальним залишається питання, якою буде точність визначення довжин векторів при тій чи іншій тривалості спостережень та різних довжинах векторів, якщо сумісно використовувати сигнали супутників систем ГЛОНАСС та GPS. Крім того, важливо виконати апробацію виведених формул (2) та (3), які отримані суто за результатами GPS-вимірювань.

Для вирішення цього питання, використано результати спостережень на 19 перманентних станціях, які розташовані на території Франції та приймають сигнали систем GPS та ГЛОНАСС. Дані взяті за 20 діб з WEB-сторінки <http://rgp.ign.fr>. З вибраних спостережень сформовано мережу (мережа №2), яка складається з 171 вектора, довжини яких змінюються від 3 до 89 км.

Аналогічно, як і в описаному вище етапі досліджень сформовані і опрацьовано сеанси спостережень та отримані СКП довжин векторів. Отже опрацьовано по 50 сеансів тривалістю 6, 3, 2, 1 і 0,5 год та по 40 сеансів тривалістю 12 та 24 год двосистемними дво- та одночастотними приймачами.

Необхідно зазначити, що для двочастотних приймачів значення СКП довжин векторів обчислені при всіх довжинах векторів, тобто від 3 до 89 км, а для одночастотних взяті до уваги параметри векторів від 3 до 30 км. Обчислені за залежностями (2) та (3) значення СКП довжин векторів при всіх тривалостях сеансів спостережень для дво- та одночастотних приймачів порівнювалися з СКП, отриманими за результатами спостережень. Межі зміни значень різниць, а також середні квадратичні значення різниць (див табл. 2) дають змогу оцінити точність виведених нами формул.

Таблиця 2

Результати порівняння СКП, обчислених за формулами (2) і (3) та отриманих з опрацювання спостережень, мм

| Показники | Тривалість спостережень, год | | | | | | |
|------------------------|------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| | 24 | 12 | 6 | 3 | 2 | 1 | 0,5 |
| Двочастотні приймачі | | | | | | | |
| Макс. додатна різниця | 0,5 | 0,4 | 0,7 | 0,9 | 0,5 | 0,4 | 0,6 |
| Макс. від'ємна різниця | -1,8 | -1,9 | -2,2 | -2,1 | -2,3 | -2,4 | -8,9 |
| δ | 0,62 | 0,65 | 0,81 | 0,83 | 0,91 | 1,16 | 3,41 |
| Одночастотні приймачі | | | | | | | |
| Макс. додатна різниця | 0,3 | 0,4 | 0,3 | 0,3 | 0,0 | 0,2 | -0,1 |
| Макс. від'ємна різниця | -0,5 | -0,9 | -0,8 | -0,9 | -1,6 | -1,9 | -2,3 |
| δ | 0,26 | 0,37 | 0,39 | 0,48 | 0,77 | 0,85 | 1,11 |

Розходження між обчисленими за виведеними нами формулами та отриманими за результатами спостережень СКП довжин векторів не перевищують 17% для двочастотних приймачів та для одночастотних – 23% при віддальях до 30 км.

Отримані результати дають змогу рекомендувати використовувати формули (2) та (3) для апріорної оцінки точності довжин векторів, визначених за результатами спостережень дво- та одночастотними двосистемними приймачами при тривалості сеансів від 6 до 0,5 год та віддалях між приймачами від 1 до 30 км.

В цьому розділі також розглянуті питання впливу на точність визначення положення пунктів таких чинників, як тривалість спостережень та віддалі між одночасно працюючими приймачами.

Для встановлення залежності СКП положення пунктів від тривалості сеансів спостережень, довжин та кількості векторів, які сходяться на пункті, положення якого оцінюється, використано результати спостережень протягом 20 діб на перманентних станціях, які розташовані на території Швейцарії та приймають сигнали двох супутникових систем GPS та ГЛОНАСС. Ці дані, а також координати станцій, які прийняті в дослідженні за істинні, взяті з www.swipos.ch.

Сформована мережа (мережа №1) складається з 23 перманентних станцій та 57 векторів, довжини яких змінюються від 20 до 77 км.

Опрацьовано 20 сеансів тривалістю 24 год, по 40 сеансів тривалістю 12 та 6 год, по 80 – 3, 2, 1, 0,5, 0,25 год. Таким чином загалом отримано 500 сеансів спостережень двосистемними двочастотними приймачами. При цьому кут відсічки встановили рівним 15°.

Отримані після врівноваження мережі планові координати пунктів порівнювалися з істинними значеннями координат цих пунктів. При врівноваженні чотири пункти, розташовані по периметру мережі, фіксувалися. За різницями між координатами, отриманими із опрацювання і їх істинними значеннями, обчислено СКП координат та положення пунктів для кожної тривалості спостережень. Крім того, в мережі для кожного пункту підраховано кількість векторів, які сходяться на ньому, а також визначено середнє значення довжини цих векторів. Використовуючи одержані результати встановлено залежності точності визначення положення пунктів від тривалості спостережень, кількості і середньої довжини векторів, які сходяться на пункті, що оцінюється.

Отримано дві формули:

$$m = 0,105 \cdot S - 1,592 \cdot \ln(T) + 3,1/n + 3,5, \quad (4)$$

$$m = \exp(0,019 \cdot S - 0,272 \cdot \ln(T) + 0,3/n + 1,4), \quad (5)$$

де m – СКП в мм; S – середнє значення довжини векторів в км; T – тривалість спостережень, год; n – кількість векторів, які сходяться на пункті.

Для об'єктивної перевірки формул (4) і (5) сформовано три мережі. Для цього використано результати спостережень на перманентних станціях, які розташовані на території Франції та Швейцарії, і на яких приймаються сигнали супутників двох систем GPS та ГЛОНАСС. Одна мережа (мережа №2) сформована за результатами спостережень протягом десяти діб на 11 перманентних станціях, друга (мережа №3) п'яти діб на 15 станціях та третя (мережа №4) – однієї доби на 15 перманентних станціях. Мережа №2 складається з 28 векторів довжини, яких змінюються від 13,4 км до 41,1 км, мережа №3 складається з 39 векторів з довжинами 8,6 - 33,1 км та мережа №4 – 40 векторів з довжинами від 20,2 км до 99,4 км.

Мережі опрацьовано за вже описаною нами вище методикою. Відмінність опрацювання мережі №4 полягала в тому, що у першому випадку мережа врівноважувалася, як вільна при всіх сеансах спостережень, а в другому – фіксувалися чотири пункти мережі. Використовуючи формули (4) та (5), обчислені СКП положення пунктів, які порівнювалися з СКП визначеними за результатами спостережень, тобто для кожного пункту та кожної тривалості спостережень обчислені різниці між відповідними значеннями СКП. Для всіх мереж у відсотках визначена кількість пунктів, для яких отримані різниці не перевищують 20%, результати представлені у табл. 3 (кількість пунктів для яких різниці між СКП, визначеними за результатами спостережень різної тривалості та отриманими за формулами не перевищують 20%: за формулою (4) – перед рискою і за формулою (5) – після риски). Необхідно зауважити, що для мережі №4, в якій довжини векторів є суттєво довшими, наведена кількість пунктів, для яких різниці не повинні перевищувати 30%.

Таблиця 3

Результати аналізу формули (4) та (5) для мереж №2, №3 та №4

| Тривалість сеансів, год | 24 | 12 | 6 | 3 | 2 | 1 | 0,5 | 0,25 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| мережа№2 | | | | | | | | |
| К-сть пунктів, % | 0/57 | 57/43 | 43/71 | 86/86 | 71/71 | 86/86 | 71/86 | 29/71 |
| мережа№3 | | | | | | | | |
| К-сть пунктів, % | 18/36 | 27/27 | 27/64 | 73/64 | 73/73 | 64/64 | 64/73 | 73/64 |
| мережа№4 (вільна мережа) | | | | | | | | |
| К-сть пунктів, % | 47/47 | 53/60 | 53/73 | 47/60 | 60/73 | 53/80 | 27/60 | 27/60 |
| мережа№4 (мережа з фіксованими пунктами) | | | | | | | | |
| К-сть пунктів, % | 36/27 | 55/45 | 55/55 | 45/27 | 45/55 | 55/55 | 45/55 | 55/45 |

Проаналізувавши отримані результати для мереж, можна рекомендувати формулу (5) використовувати при тривалості спостережень від 6 до 0,25 год, якщо довжини векторів знаходяться в діапазоні від 15 до 50 км. Формулу (4) також можна застосовувати, але найдоцільніше, у разі тривалості сеансів спостережень не менше 1 год і, крім того, як показали результати, отримані для мережі №4 – при довжинах векторів до 70 км.

Виконана апробація та аналіз отриманих формул підтвердили можливість їх використання для апріорної оцінки точності супутникових мереж та для встановлення оптимальної тривалості спостережень.

В третьому розділі "**Вплив на точність визначення положення пунктів кута відсічки, типу ефемерид, спільного використання сигналів супутників GPS та ГЛОНАСС**" представлено результати досліджень залежності точності визначення положення пунктів в супутникових мережах від величини кута відсічки, типів ефемерид та доцільності спільного використання сигналів супутників систем GPS та ГЛОНАСС.

Всі дослідження виконувалися по суті за однаковою методикою, тобто:

1. Пошук перманентних станцій, які знаходяться на певних відстанях одна від

одної, з яких формувалися мережі.

2. На сайтах, де є доступні результати спостережень на вибраних перманентних станціях, наводяться також просторові координати цих станцій, за якими обчислено їх планові координати в проекції Гауса-Крюгера. Вони прийняті за істинні і з ними порівнювались координати пунктів врівноважених супутникових мереж, визначені зі спостережень різної тривалості.

3. Формувалися сеанси певної тривалості, які опрацьовувалися програмним забезпеченням Trimble Business Center. Крім того, враховувалися параметри, які визначають мету досліджень – встановлення залежності точності визначення положення пунктів від впливу використання сигналів супутників систем GPS та ГЛОНАСС, величини кута відсічки, типу ефемерид.

Розглянемо виконані дослідження більш детально:

- Вплив використання сигналів супутників систем GPS і ГЛОНАСС на точність визначення положення пунктів супутникових мереж. Спільне використання GPS та ГЛОНАСС є одним з перспективних шляхів розвитку ГНСС. Однак є ряд відмінностей у функціонуванні цих систем та опрацюванні результатів спостережень, які ускладнюють їх спільне застосування.

У зв'язку із суперечливими висновками в публікаціях щодо цього питання, нами проведені дослідження, в яких використано однодобові результати спостережень на перманентних станціях, що розташовані на території Франції і Швейцарії та приймають сигнали супутників систем GPS та ГЛОНАСС.

Сформовано три мережі із французьких станцій. Перша мережа складається з 12 перманентних станцій та 33 векторів, довжини яких змінюються від 8,6 до 46,7 км. Друга – з 11 станцій та 28 векторів з довжинами від 13,4 до 41,1 км. І остання мережа складається з 11 станцій, які з'єднані між собою 28 векторами з довжинами від 8,6 до 33,1 км. Отже, як бачимо, кількість станцій, векторів та діапазон довжин векторів для цих трьох мереж є майже однаковими. Мережа №4, яка розташована на території Швейцарії, складається з 23 перманентних станцій та 57 векторів, довжини яких змінюються від 20 до 77 км, тобто відрізняється від перших трьох і кількістю пунктів і довжинами векторів.

Після опрацювання сформованих сеансів різної тривалості, а саме: по одному сеансу тривалістю 24 та 12 год, два сеанси тривалістю 6 год та по чотири сеанси тривалістю 3, 2, 1 та 0,5 год, а для мережі №4 сформовані також чотири сеанси тривалістю 0,25 год. В кожному випадку мережі врівноважувалися і при цьому чотири пункти, розташовані по периметру мереж, фіксувалися.

Для кожної з чотирьох мереж виконали порівняльний аналіз точності положення пунктів, які визначені використовуючи сигнали супутників одночасно двох систем (GPS+ГЛОНАСС) та окремо системи GPS. За різницями координат, отриманими за результатами спостережень різної тривалості та їх істинних значень, обчислені помилки положення пунктів Δ . Визначено загальну їх кількість для чотирьох мереж, а також пораховано кількість помилок, які задовольняють нерівності $\Delta_{2\text{системи}} < \Delta_{\text{GPS}}$, $\Delta_{2\text{системи}} < \Delta_{\text{GPS}}$ і рівняння $\Delta_{2\text{системи}} = \Delta_{\text{GPS}}$. Ці значення вказують на ефективність використання двох систем. Отримані результати наведені в табл. 4.

Таблиця 4

Результати порівняння точності визначення положення пунктів, отриманих за спостереженнями системи GPS та разом двох систем GPS + ГЛОНАСС

| Загальна кількість помилок | $\Delta_{2\text{системи}} < \Delta_{\text{GPS}}$ | | $\Delta_{2\text{системи}} > \Delta_{\text{GPS}}$ | | $\Delta_{2\text{системи}} = \Delta_{\text{GPS}}$ | |
|----------------------------|--|------|--|------|--|------|
| | Кількість | % | Кількість | % | Кількість | % |
| 915 | 453 | 49,5 | 263 | 28,7 | 199 | 21,8 |

На прикладі мережі №4 показано, як змінюється точність визначення положення пунктів зі зменшенням тривалості спостережень, використовуючи супутники двох систем та окремо GPS, результати наведені у табл. 5.

Таблиця 5

Результати порівняння точності визначення положення пунктів мережі №4, отримані при різній тривалості сеансів спостережень дво- та односистемними приймачами

| Тривалість сеансу, год | Загальна кількість помилок | Кількість % | | |
|------------------------|----------------------------|--|--|--|
| | | $\Delta_{2\text{системи}} < \Delta_{\text{GPS}}$ | $\Delta_{2\text{системи}} > \Delta_{\text{GPS}}$ | $\Delta_{2\text{системи}} = \Delta_{\text{GPS}}$ |
| 24 | 19 | 21,1 | 10,5 | 68,4 |
| 12 | 38 | 28,9 | 31,6 | 39,5 |
| 6 | 38 | 26,3 | 39,5 | 34,2 |
| 3 | 76 | 46,1 | 34,2 | 19,7 |
| 2 | 76 | 47,4 | 32,9 | 19,7 |
| 1 | 76 | 56,6 | 31,6 | 11,8 |
| 0,5 | 76 | 60,5 | 35,5 | 3,9 |
| 0,25 | 76 | 78,9 | 19,7 | 1,3 |

Загалом отримані результати показали, що спільне використання двох систем хоча і дозволяє підвищити точність визначення положення пунктів, порівнюючи з системою GPS, проте несуттєво. Однак, одночасне спостереження супутників систем GPS і ГЛОНАСС підвищує точність визначення положення пунктів супутникових мереж при коротких тривалостях сеансів спостережень (3 год і менше).

- Вплив кута відсічки на точність визначення положення пунктів із застосуванням ГНСС. Метою проведеного нами дослідження є вивчення впливу зміни кута відсічки на точність визначення положення пунктів супутникових мереж при різній тривалості спостережень односистемними (приймають тільки сигнали системи GPS) дво- і одночастотними приймачами та двосистемними (приймають сигнали систем GPS і ГЛОНАСС) дво- і одночастотними приймачами.

Для дослідження використані результати спостережень протягом шести діб на перманентних станціях, які розташовані у північній частині Франції.

Зі спостережень сформовані три мережі. Перша з них складається з 12 перманентних станцій та 30 векторів з довжинами від 8,6 до 49,0 км. Друга мережа складається також з 12 перманентних станцій і 33 векторів, довжини яких

змінюються від 8,6 до 46,7 км. І третя мережа складається з 11 станцій, які з'єднані між собою 28 векторами з довжинами від 13,4 до 41,1 км. Отже мережі сформовані так, що кількість станцій, векторів та їх довжини є відповідно близькими за цими показниками.

Максимальна кількість супутників систем GPS та ГЛОНАСС, які спостерігаються на кожному пункті з восьмої години ранку до дев'ятої години вечора кожного дня, встановивши кут відсічки рівним 0° , сягає 20, а мінімальна – 12. Крім того, була проаналізована зміна показника GDOP при різних значеннях кута відсічки. Отже, для значень кута відсічки $0^\circ - 5^\circ$ протягом шести діб цей параметр не перевищував 3 - 4 одиниці, а от при висоті супутників над горизонтом 30° є випадки, коли показник GDOP перевищує 10 одиниць.

Для кожної мережі, використовуючи сигнали супутників двох систем та тільки системи GPS, сформовано по шість сеансів спостережень дво- і одночастотними приймачами тривалістю 24 і 12 год, по 12 сеансів тривалістю 6 год та по 24 сеанси тривалістю 3, 2, 1, 0,5 і 0,25 год. Сеанси вказаної вище тривалості опрацьовано в семи варіантах, тобто встановивши певне значення кута відсічки, а саме: 0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 30° і 40° . В результаті для кожної з трьох мереж сформовано 672 сеанси, відповідно за шість діб загальна кількість сеансів становить 12 096.

Після опрацювання виконаний детальний аналіз отриманих результатів (порівнювалися значення СКП положення пунктів, які визначені при різних кутах відсічки, використовуючи тільки сигнали супутників GPS та разом двох систем GPS + ГЛОНАСС). В табл. 6 виписані кути відсічки при яких максимальні СКП положення пунктів трьох мереж мають найменше і найбільше значення за результатами спостережень дво- і одночастотними приймачами.

Таблиця 6

Кути відсічки, для яких отримані найменші і найбільші СКП положення пунктів, визначені за результатами спостережень дво- і одночастотними приймачами

| № мережі | Двочастотні приймачі | | | | | | | | Одночастотні приймачі | | | | | | | |
|----------------------------|------------------------|----|----|-------|----|-------|-----|------|------------------------|----|----|------|----|-------------|-----|------|
| | Тривалість сеансу, год | | | | | | | | Тривалість сеансу, год | | | | | | | |
| | 24 | 12 | 6 | 3 | 2 | 1 | 0,5 | 0,25 | 24 | 12 | 6 | 3 | 2 | 1 | 0,5 | 0,25 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Система GPS | | | | | | | | | | | | | | | | |
| min | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,10 | 30 | 20 | 20 | 20 | 30 | 5 | 20 | 0 | 30 | 20 | 30 | 30 | 0,10, 20 | 5 | 5 |
| 2 | 20 | 30 | 30 | 20 | 30 | 0,10 | 20 | 5 | 40 | 30 | 30 | 20 | 20 | 20 | 15 | 15 |
| 3 | 40 | 30 | 30 | 40 | 30 | 30 | 20 | 20 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 20 | 0 | 15 |
| max | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 15 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 2 | 30 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 0 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| 3 | 15 | 40 | 40 | 10-15 | 40 | 40 | 40 | 40 | 5 | 40 | 40 | 0-10 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Системи GPS+ГЛОНАСС | | | | | | | | | | | | | | | | |
| min | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 15 | 40 | 30 | 30 | 30 | 15,30 | 15 | 15 | 40 | 40 | 30 | 40 | 30 | 20 | 20 | 0,10 |

Продовження табл. 6

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------|----|-------|------|-------------|------|-------------|----|-------|----|------|----|------|------|----|----|------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| 2 | 15 | 30 | 30 | 30 | 30 | 0-10, 30 | 20 | 15-20 | 40 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 20 | 0-10 |
| 3 | 5 | 20 | 30 | 30 | 30 | 30 | 15 | 20 | 40 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 20 |
| max | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 40 | 15,30 | 5 | 0-10, 40 | 5,40 | 40 | 40 | 40 | 20 | 15 | 15 | 0-10 | 0 | 40 | 40 | 40 |
| 2 | 30 | 15 | 0,40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 20 | 20 | 15 | 0,10 | 0-10 | 40 | 40 | 40 |
| 3 | 30 | 15 | 15 | 20 | 0-15 | 40 | 40 | 40 | 15 | 0,10 | 40 | 5 | 40 | 40 | 40 | 40 |

Як бачимо, оптимальні кути відсічки є різними для сеансів різної тривалості, тому можна рекомендувати при спостереженнях приймати сигнали супутників, які знаходяться не нижче 5° над горизонтом, а при опрацюванні результатів спостережень вибрати той кут відсічки при якому точність визначення положення пунктів є найвищою, тобто в діапазоні від 15° до 30° .

Для визначення ефективності використання двох систем виконано порівняння СКП положення пунктів для кожної мережі, отриманих за однаковими варіантами сеансів спостережень тільки супутників системи GPS (M_{GPS}) та супутників двох систем ($M_{2системи}$). Необхідно зауважити, що отримані результати при куті відсічки 40° не приймалися до уваги, бо при цьому куті здебільшого різко збільшуються помилки визначення положення пунктів. Результати наведені у табл.7, де вказано кількість випадків, для яких використання супутників двох систем не дало позитивного результату, тобто для яких виконується нерівність $M_{2системи} \geq M_{GPS}$ та кількість випадків, коли точність положення пунктів підвищилась при використанні супутників двох систем, тобто для яких виконується нерівність $M_{2системи} < M_{GPS}$.

Таблиця 7

Результати порівняння точності положення пунктів, отриманих за спостереженнями системи GPS та GPS + ГЛОНАСС

| Тривалість сеансу, год | Загал. к-сть СКП | Двочастотні приймачі | | Одночастотні приймачі | |
|------------------------|------------------|-----------------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------|
| | | К-сть % | К-сть % | К-сть % | К-сть % |
| | | $M_{2системи} \geq M_{GPS}$ | $M_{2системи} < M_{GPS}$ | $M_{2системи} \geq M_{GPS}$ | $M_{2системи} < M_{GPS}$ |
| 24 | 136 | 52,2 | 47,8 | 46,3 | 53,7 |
| 12 | 136 | 63,2 | 36,8 | 70,6 | 29,4 |
| 6 | 136 | 50,0 | 50,0 | 67,6 | 32,4 |
| 3 | 136 | 39,0 | 61,0 | 26,5 | 73,5 |
| 2 | 136 | 28,7 | 71,3 | 16,2 | 83,8 |
| 1 | 136 | 39,7 | 60,3 | 13,2 | 86,8 |
| 0,5 | 136 | 30,9 | 69,1 | 0,0 | 100,0 |
| 0,25 | 136 | 5,1 | 94,9 | 2,9 | 97,1 |

Вплив використання сигналів супутників систем GPS+ГЛОНАСС залежить від тривалості сеансів спостережень. Виконуючи спостереження тривалістю 24, 12 і 6 год точність визначення положення пунктів підвищується приблизно у 37 - 50% випадків, а при тривалості 3 год і менше – у 60 - 95% випадків. Для одночастотних

приймачів відповідно отримали: 29 - 54% випадків, коли точність визначення положення пунктів підвищується при тривалості спостережень 24 - 6 год та 74 - 100% при тривалості 3 - 0,25 год. Отже, в результаті встановлено, що додатній вплив приймання сигналів супутників системи ГЛОНАСС має місце тільки при сеансах спостережень тривалістю не більшою ніж 3 год, що підтверджує зроблені раніше висновки.

- Дослідження впливу типів ефемерид, використаних при постопрацюванні супутникових спостережень, на точність визначення положення пунктів. Для того щоб визначення координат пункту було можливим, необхідно перш за все, знати положення супутників на орбіті, тобто їх ефемериди на момент вимірювання, які дозволяють обчислити координати фазового центру антен супутників. Існує кілька типів ефемерид, які характеризуються різною точністю.

В наших дослідженнях досить часто використовувалися мережі з довжинами векторів до 30 км, тому виникло питання у доцільності використання точних ефемерид для такого діапазону довжин, і чи достатньо обмежитися лише застосуванням бортових ефемерид.

Для вирішення цих питань використано результати спостережень на перманентних станціях протягом двох діб. Сформовано три мережі з різними діапазонами довжин векторів. Перші дві мережі розташовані на території Франції, тоді як остання на території США (штат Каліфорнія).

Перша мережа складається з 12 перманентних станцій та 37 векторів з довжинами від 16,6 до 75,9 км. Друга – з 12 перманентних станцій та 33 векторів, довжини яких змінюються від 8,6 до 46,7 км. І остання мережа складається з 13 станцій, які з'єднані між собою 34 векторами з довжинами від 3,9 до 18,0 км. Отже, як бачимо, кількість станцій та векторів для цих трьох мереж є майже однаковими, тоді як діапазон довжин векторів в мережах поступово зменшується.

Всі мережі опрацьовано за однаковою методикою при різній тривалості сеансів спостережень односистемними приймачами, спочатку з використанням бортових ефемерид, а пізніше – остаточних. Для кожної мережі отримано по одному сеансу тривалістю 24 та 12 год, два сеанси тривалістю 6 год та по чотири сеанси тривалістю 3, 2, 1 та 0,5 год. У табл. 8 наведені середні значення СКП положення пунктів кожної мережі, отримані після опрацювання результатів спостережень з використанням остаточних і бортових ефемерид.

Таблиця 8

Середні значення СКП положення пунктів в мм, отриманих з використанням остаточних та бортових ефемерид

| № мережі | Довжини векторів (від - до), км | Тривалість спостережень, год | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------------|------------------------------|-----|-----|-----|-----|---------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| | | 24 | 12 | 6 | 3 | 2 | 1 | 0,5 | 24 | 12 | 6 | 3 | 2 | 1 | 0,5 |
| | | Тип ефемерид | | | | | | | | | | | | | |
| Остаточні | | | | | | | Бортові | | | | | | | | |
| 1 | 16,6 – 75,9 | 1,4 | 4,9 | 6,6 | 6,4 | 6,2 | 6,2 | 8,3 | 7,5 | 10,9 | 10,8 | 11,3 | 11,3 | 10,5 | 11,5 |
| 2 | 8,6 – 46,7 | 0,8 | 2,7 | 3,4 | 3,8 | 3,8 | 4,2 | 5,9 | 4,4 | 5,8 | 6,2 | 6,3 | 6,5 | 6,0 | 6,7 |
| 3 | 3,9 – 18,0 | 1,5 | 3,2 | 3,8 | 3,9 | 4,0 | 4,7 | 4,8 | 2,0 | 3,2 | 3,7 | 3,9 | 4,0 | 4,5 | 4,7 |

Проведене дослідження показує, що вплив остаточних ефемерид на точність визначення положення пунктів супутникових мереж залежить від довжин векторів, з яких побудована мережа. Найбільше підвищення точності отримано в мережі з найдовшими векторами, тоді як в мережі з векторами довжиною до 20 км точні ефемериди практично не покращують точності визначення положення пунктів. Тому, незважаючи на підвищення точності бортових ефемерид, все таки використання остаточних ефемерид підвищує точність визначення положення пунктів в супутникових мережах, в яких зустрічаються вектори, довші ніж 30 км. А при створенні мереж, в яких є вектори довші 40 км, на наш погляд, використання остаточних ефемерид є обов'язковим. Також отримані результати підтверджують залежність точності визначення положення пунктів від тривалості спостережень незалежно від типу ефемерид.

Крім остаточних ефемерид та бортових, точність яких є відповідно найвищою та найнижчою існують ще кілька типів ефемерид, які також характеризуються певною точністю. Нами розглядалося питання впливу на точність визначення положення пунктів використання тільки бортових та остаточних ефемерид, а також як буде змінюватися ця залежність зі зміною довжин векторів. Однак, невідомо як залежатиме точність визначення координат пунктів від інших типів ефемерид, таких як: швидкі та ультра-швидкі, точність яких є вищою від бортових, а час очікування є набагато менший ніж остаточних. Крім того, дослідження впливу типу ефемерид на точність визначення положення пунктів виконувалося використовуючи тільки систему GPS, тому виникло питання, якою буде ця точність, якщо спостерігати одночасно супутники GPS та ГЛОНАСС та використовувати ефемериди супутників ГЛОНАСС. Як вже було з'ясовано, вплив бортових та остаточних ефемерид на точність визначення положення пунктів в мережі залежить від віддалей між пунктами. У мережах з короткими довжинами векторів вплив на точність вимірів типу ефемерид (остаточні, бортові) є мінімальним, тому у наступному дослідженні розглядалися мережі, віддалі між пунктами яких є більшими.

Для дослідження використані результати спостережень протягом трьох діб на перманентних станціях, які розташовані на територіях Бельгії (www.ntrip.flepos.be) і Швейцарії. Дослідження виконане за аналогічною методикою, що і попереднє. Сформовано дві мережі з різними діапазонами довжин векторів. Мережа №1 складається з 19 пунктів, які розташовані один відносно одного на відстанях від 14,5 до 40,7 км. Загальна кількість векторів в мережі рівна 50. Мережа №2, яка розташована на території Швейцарії, складається з 23 перманентних станцій та 57 векторів, довжини яких змінюються від 20,2 до 76,6 км.

Всі мережі опрацьовані за однаковою методикою при різній тривалості сеансів спостережень двочастотними приймачами, а саме 24, 12, 6, 3, 2, 1 та 0,5 та 0,25 год, спочатку враховуючи супутники тільки GPS, а пізніше – двох систем. Крім того, результати спостережень опрацьовувалися використовуючи різні типи ефемерид, тобто на кожному етапі цього дослідження, наприклад, для даних GPS+ГЛОНАСС завантажувалися файли з іншим типом ефемерид – остаточні GPS та ГЛОНАСС, бортові GPS та ГЛОНАСС, бортові ГЛОНАСС та швидкі GPS, бортові ГЛОНАСС і ультра-швидкі GPS і т.д. Таким чином для кожної мережі виконано п'ять варіантів опрацювання результатів, отриманих з використанням лише сигналів супутників

GPS, основна відмінність яких це тип ефемерид, що імпортувався. Опрацьовуючи результати, отримані з використанням двох систем, таких варіантів для кожної мережі розглянуто вісім.

Після опрацювання результатів спостережень визначені СКП координат пунктів двох мереж при кожній тривалості спостережень, середні значення яких наведені у табл. 9 для односистемних приймачів та в табл. 10 для двосистемних. В цих таблицях позначені: бортові GPS – n; бортові ГЛОНАСС – g; остаточні ефемериди GPS – igs; остаточні ефемериди ГЛОНАСС – igl; швидкі GPS – igr; швидкі ГЛОНАСС – r(glo); ультра-швидкі GPS – igu; ультра-швидкі ГЛОНАСС – u(glo); ультра-швидкі для систем GPS і ГЛОНАСС – igv.

Таблиця 9

СКП положення пунктів в мм, визначені при різній тривалості сеансів спостережень односистемними приймачами

| Тривалість сеансу, год | Тип ефемерид | | | | |
|------------------------|--------------|------|------|------|------|
| | n | igs | igr | igu | igv |
| 24 | 6,7 | 6,1 | 6,1 | 6,5 | 6,3 |
| 12 | 7,7 | 6,9 | 6,9 | 7,0 | 7,1 |
| 6 | 8,2 | 7,4 | 7,6 | 7,6 | 7,7 |
| 3 | 9,2 | 7,9 | 8,3 | 8,0 | 8,2 |
| 2 | 9,4 | 9,0 | 9,0 | 9,3 | 9,3 |
| 1 | 11,3 | 9,9 | 10,1 | 10,3 | 10,1 |
| 0,5 | 21,8 | 16,0 | 16,9 | 17,9 | 18,0 |
| 0,25 | 26,5 | 18,2 | 19,3 | 23,5 | 25,9 |

Таблиця 10

СКП положення пунктів в мм, визначені при різній тривалості сеансів спостережень двосистемними приймачами

| Тривалість сеансу, год | Тип ефемерид | | | | | | | |
|------------------------|--------------|---------|------------|------------|------|-------|-------|-------|
| | n+g | igs+igl | igr+r(glo) | igu+u(glo) | igv | g+igs | g+igr | g+igu |
| 24 | 6,7 | 6,1 | 6,2 | 6,5 | 6,3 | 6,1 | 6,1 | 6,4 |
| 12 | 7,8 | 7,3 | 7,1 | 7,3 | 7,0 | 6,9 | 7,0 | 7,0 |
| 6 | 8,2 | 7,8 | 7,8 | 7,9 | 7,7 | 7,5 | 7,5 | 7,6 |
| 3 | 8,7 | 8,3 | 8,5 | 8,6 | 8,4 | 8,0 | 8,4 | 8,4 |
| 2 | 9,7 | 9,0 | 9,3 | 9,4 | 8,7 | 8,2 | 8,3 | 8,1 |
| 1 | 10,5 | 10,1 | 9,8 | 10,0 | 10,2 | 9,3 | 9,5 | 9,5 |
| 0,5 | 21,9 | 16,9 | 17,3 | 17,9 | 11,9 | 11,8 | 11,9 | 13,4 |
| 0,25 | 25,9 | 25,3 | 19,6 | 18,6 | 14,2 | 13,7 | 13,9 | 14,4 |

Порівнюючи середні значення СКП положення пунктів, отриманих при використанні бортових та остаточних ефемерид, бачимо, що при тривалості сеансів спостережень 24, 12 і 6 год односистемними приймачами остаточні ефемериди підвищують точність визначення положення пунктів в середньому на 10%, а при

тривалості сеансів 0,5 год на 27%, і 0,25 год – 31%. Отже, зменшення тривалості сеансів спостережень підсилює вплив остаточних ефемерид на точність визначення положення пунктів. Тільки при тривалості сеансів 2 год остаточні ефемериди підвищили точність пунктів на 4,2%.

Вплив інших типів ефемерид також залежить від тривалості сеансів. При тривалості сеансів 24 і 12 год та використанні швидких ефемерид, ми отримали таку ж точність положення пунктів, як і для остаточних. При зменшенні тривалості сеансів точність положення пунктів понижується на 3% - 6%. Ефективність використання ультра-швидких ефемерид є меншою ніж швидких, особливо при коротких сеансах спостережень 1 - 0,25 год. Вплив ультра-швидких ефемерид призначених для двох систем є близьким до впливу ультра швидких системи GPS.

Порівнявши результати, наведені у табл. 9 і 10, бачимо, що незалежно від типу ефемерид точність положення пунктів, визначених при тривалості сеансів спостережень від 6 до 24 год двосистемними приймачами є або такою ж, як і при спостереженнях односистемними приймачами, або меншою. При коротших сеансах спостережень точність визначення положення пунктів є однаковою для обох типів приймачів, або ж є вищою для двосистемних приймачів.

Отримані результати для двосистемних приймачів не дають змоги сформулювати однозначних висновків. Проте, при використанні точних ефемерид системи ГЛОНАСС простежується пониження точності визначення положення пунктів. Тому можна рекомендувати не використовувати їх при опрацюванні результатів, отриманих двосистемними приймачами, а застосовувати бортові ефемериди ГЛОНАСС та остаточні GPS. Як відомо, точні ефемериди є доступними для використання через різні проміжки часу, отже, замість остаточних ефемерид можна рекомендувати використовувати швидкі ефемериди GPS.

ВИСНОВКИ

У процесі розробки теоретичних положень і практичних рекомендацій щодо вирішення поставлених завдань актуалізації параметрів супутникових спостережень відносним статичним методом при створенні геодезичних мереж, отримані результати, які можна сформулювати наступним чином:

1. Виконано дослідження залежності точності визначення довжин векторів у мережі від зміни тривалості сеансів спостережень та віддалі між приймачами. За результатами якого, отримані формули для оцінки точності визначення довжин векторів, які рекомендується застосовувати при тривалості сеансів від 6 до 0,5 год та віддалях між двосистемними дво- та одночастотними приймачами від 1 до 30 км. Формули можна використовувати при проектуванні супутникових мереж для встановлення оптимальної тривалості спостережень.

2. За результатами дослідження залежності точності визначення положення пунктів від тривалості сеансів супутникових спостережень, кількості і довжин векторів, за параметрами яких визначається пункт, виведені формули СКП положення пунктів. Формула (5) рекомендується для апріорної оцінки точності пунктів мереж, створюваних відносними статичними спостереженнями супутників двох систем двочастотними приймачами при довжинах векторів від 15 до 50 км та

тривалості спостережень від 6 до 0,25 год. Формулу (4) доцільніше використовувати при довжинах векторів до 70 км та тривалості сеансів спостережень від 6 до 1 год.

3. Проаналізовано ефективність спільного використання сигналів супутників систем GPS та ГЛОНАСС. Результати досліджень показали, що одночасне спостереження супутників цих систем підвищує точність визначення положення пунктів супутникових мереж, якщо тривалість сеансів є меншою ніж 3 год. Найбільш ефективним є застосування двосистемних приймачів при тривалості спостережень 0,5 - 0,25 год. Використання супутників систем GPS та ГЛОНАСС є малоефективним, якщо тривалість сеансів є більшою ніж 3 год, в такому випадку можна використовувати тільки одну систему GPS.

4. Проведено дослідження точності визначення положення пунктів супутникових мереж за спостереженнями різної тривалості (24, 12, 6, 3, 2, 1, 0,5, 0,25 год) дво- і одночастотними одно- та двосистемними приймачами при різних значеннях кута відсічки (0° , 5° , 10° , 15° , 20° , 30° і 40°). Отримані результати дають можливість встановити оптимальні значення кутів відсічки, які є різними для сеансів різної тривалості. Тому можна рекомендувати при спостереженнях приймати сигнали супутників, які знаходяться не нижче 5° над горизонтом, а при опрацюванні результатів спостережень вибрати той кут відсічки, при якому точність визначення положення пунктів є найвищою, найчастіше в діапазоні від 15° до 30° .

5. Виконано дослідження впливу типів ефемерид на точність визначення положення пунктів мереж з різними діапазонами довжин векторів. Незважаючи на підвищення точності бортових ефемерид в наш час, все таки використання остаточних ефемерид підвищує точність визначення положення пунктів в супутникових мережах, створених за допомогою системи GPS, в яких зустрічаються вектори, довші ніж 30 км. А при створенні точних мереж, в яких є вектори довші 40 км, на наш погляд, використання остаточних ефемерид є обов'язковим.

При опрацюванні результатів, отриманих двосистемними приймачами рекомендується використовувати бортові ефемериди ГЛОНАСС та остаточні GPS. Як відомо, точні ефемериди є доступними для використання через різні проміжки часу, тому замість остаточних ефемерид можна застосовувати швидкі.

Отримані в дисертаційній роботі актуальні показники методики відносних статичних спостережень дають змогу використовувати сучасні можливості ГНСС, оптимізувати процес проектування та створення геодезичних мереж.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Костецька Я. Вплив кута відсічки та типу приймача на точність визначення положення пунктів / Я. Костецька, Ю. Пішко, І. Торопа // Геодезія, картографія і аерофотознімання: міжвідомчий наук.-техн. зб. – Л., 2014. – Вип. 80. – С. 20-29.
2. Костецька Я. Вплив типу ефемерид на точність визначення положення пунктів супутникових мереж / Я. Костецька, Ю. Пішко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Л., 2013. – Вип. 1 (25) – С. 67-69.
3. Костецька Я. До питання точності довжин векторів, отриманих за результатами відносних GPS-спостережень двочастотними приймачами / Я. Костецька, Ю.

Пішко//Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Л., 2009. – Вип. 1 (17) – С.92-97.

4. Костецька Я. Залежність точності визначення положення пунктів у супутникових мережах від тривалості сеансів спостережень / Я. Костецька, Ю. Пішко, Д. Гешель // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Л., 2011. – Вип. 2 (22) – С.96-102.

5. Пішко Ю. Уточнення формул середніх квадратичних помилок довжин векторів, визначених за результатами спостережень GPS-приймачами / Ю. Пішко // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва: зб. наук. пр. – Л., 2012. – Вип. 1 (23) – С. 87-90.

6. Костецкая Я. Определение точного расположения пунктов спутниковой системы при длительном сеансе наблюдений с помощью систем GPS и ГЛОНАСС на различных углах отсечки / Я. Костецкая, Ю. Пишко // Известия Национального Университета Архитектуры и Строительства Армении – Єреван, 2014. – 1 (39) – С. 95-100.

7. Костецька Я. Порівняння точності визначення положення пунктів з використанням супутникових систем GPS та ГЛОНАСС / Я. Костецька, Ю. Пішко // Науковий вісник Ужгородського університету. Серія Географія, природокористування та туризм – Ужгород, 2013. – Вип. 1 – С. 62-68.

8. Костецька Я. Порівняння точності довжин векторів, отриманих за результатами спостережень одно- і двочастотними приймачами при різній тривалості сеансів / Я. Костецька, Ю. Пішко// Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні: матеріали V міжнародної науково-практичної конференції. – Ужгород, 28-30 жовтня 2010. – С. 164-166.

9. Костецька Я. Точність визначення положення пунктів з використанням супутникових систем GPS та ГЛОНАСС / Я. Костецька, Ю. Пішко // Нові технології в геодезії, землевпорядкуванні та природокористуванні: матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції. – Ужгород, 2012. – С. 282-284.

10. Торопа І.М. До питання тривалості GPS спостережень в залежності від довжин векторів / І.М. Торопа, Ю.Р. Пішко // Геодезія, архітектура та будівництво: матеріали IV міжнародної конференції молодих вчених GAC-2011. – Львів: Вид-во "Львівська політехніка", 24-26 листопада, 2011. – С. 184-185.

11. Торопа І.М. Порівняння точності вимірів, які виконані різними типами GNSS-приймачів / І.М. Торопа, Ю.Р. Пішко // Геодезія. Землеустрій. Природокористування: присвячується пам'яті П.Г. Черняги: збірник тез – Рівне, 5-6 листопада 2014. – С. 51-54.

12. Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи на тему "Проект створення із застосуванням ГНСС геодезичної основи для знімання територій в крупних масштабах" з дисципліни "Технології ГНСС в інженерній геодезії" для студентів стаціонарної та заочної форми навчання освітньо-кваліфікаційного рівня "Магістр" спеціальності 8.08010101 "Геодезія" / Укл.: Костецька Я.М., Торопа І.М., Пішко Ю.Р. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2014. – 20с.

АНОТАЦІЯ

Пішко Ю. Р. Актуалізація параметрів методики відносних супутникових спостережень для створення опорних геодезичних мереж. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.24.01 – геодезія, фотограмметрія та картографія. – Національний університет "Львівська політехніка" Міністерства освіти і науки України, Львів, 2016.

Дисертаційна робота присвячена низці актуальних питань, вирішення яких дозволить осучаснити методику створення геодезичних мереж з допомогою ГНСС.

Виконано дослідження, за результатами якого встановлені для дво- та одночастотних приймачів функціональні залежності точності визначення довжин векторів від віддалей між одночасно працюючими ГНСС-приймачами та від тривалості сеансів спостережень. Також нами виведені формули залежності точності визначення положення пунктів від тривалості сеансів супутникових спостережень двосистемними двочастотними приймачами, середнього значення довжини векторів, а також кількості векторів, за параметрами яких визначається пункт. Проаналізовано ефективність спільного використання сигналів супутників двох систем GPS та ГЛОНАСС при зменшенні тривалості сеансів спостережень. Визначені оптимальні значення кута відсічки, які рекомендується встановлювати при спостереженнях різної тривалості дво- і односистемними дво- і одночастотними приймачами. Досліджено вплив різних типів ефемерид на точність визначення положення пунктів мереж з різними діапазонами довжин векторів та обґрунтовано їх вибір при використанні сигналів супутників тільки системи GPS та разом GPS і ГЛОНАСС.

***Ключові слова:** ГНСС-спостереження, супутникові системи GPS та ГЛОНАСС, точність визначення довжин векторів, точність визначення положення пунктів, тривалість сеансів спостережень, дво- та одно частотні приймачі, геодезичні мережі.*

АННОТАЦИЯ

Пишко Ю. Р. Актуализация параметров методики относительных спутниковых наблюдений для создания опорных геодезических сетей. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.24.01 – геодезия, фотограмметрия и картография. – Национальный университет "Львовская политехника", Львов, 2016.

Диссертация посвящена ряду актуальных вопросов, решение которых позволит привести методику создания геодезических сетей с помощью ГНСС к современному состоянию навигационных спутниковых систем.

Выполнено исследование, по результатам которого установлены для двух- и одночастотных приемников функциональные зависимости точности определения длин векторов от расстояний между ГНСС-приемниками в сеансах наблюдений разной продолжительности. Эти формулы позволят при проектировании геодезических сетей устанавливать нужную продолжительность сеансов спутниковых наблюдений для достижения заданной точности сетей, то есть такой,

которая требуется нормативными документами или заказчиком. Также нами выведены формулы зависимости точности определения положения пункта сети от продолжительности сеансов спутниковых наблюдений двухсистемными двухчастотными приемниками, количества и средней длины векторов, по параметрам которых определяется этот пункт. Проанализирована эффективность совместного использования сигналов спутников двух систем GPS и ГЛОНАСС и его влияние на точность определения положения пунктов при изменении продолжительности сеансов наблюдений. Для повышения точности определения положения пунктов целесообразно использование двухсистемных приемников при продолжительности сеансов наблюдений 3ч и менее, при более продолжительных сеансах использование двухсистемных приемников практически не повышает точности пунктов. Определены оптимальные значения угла отсечки, которые рекомендуется устанавливать при наблюдениях различной продолжительности двух- и односистемными двух- и одночастотными приемниками. Исследовано влияние различных типов эфемерид на точность определения положения пунктов сетей с различными диапазонами длин векторов и обосновано их выбор при использовании сигналов спутников только системы GPS и вместе GPS и ГЛОНАСС. Установлено, что при постобработке результатов наблюдений спутников двух систем GPS и ГЛОНАСС, целесообразно использовать окончательные эфемериды системы GPS и бортовые эфемерид системы ГЛОНАСС.

Исследования точности положения пунктов и влияния на неё наблюдений спутников двух систем, изменений угла отсечки, эффекта разных типов эфемерид проведены после выполнения модификации наземного сегмента системы GPS, запуска спутников ПФ и ША, увеличения количества функционирующих спутников этой системы и функционирования системы ГЛОНАСС. Таким образом полученные нами результаты соответствуют современному состоянию ГНСС.

***Ключевые слова:** ГНСС-наблюдения, спутниковые системы GPS и ГЛОНАСС, точность определения длин векторов, точность определения положения пунктов, продолжительность сеансов наблюдений, двух- и одно частотные приемники, геодезические сети.*

ANNOTATION

Pishko Yu. R. Parameter update of the relative satellite observation methodology used for the establishment of geodetic control networks. – On the rights of man.

Thesis for a PhD degree by specialty 05.24.01 – geodesy, photogrammetry and cartography. – Lviv Polytechnic National University of Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2016.

The thesis deals with a set of topical questions, the solution of which makes possible the modernization of the methodology for the establishment of geodetic networks using GNSS.

The relationship between the accuracy of determination of vector lengths and the change in duration of the observation and distance between GNSS receivers has been researched. Based on the research results, we have derived formulas for estimating the accuracy of vector lengths determined by dual-system (GPS/GLONASS) dual- and single-frequency receivers. Formulas have been derived based on the results of the study of the

dependence of accuracy of point position determination on the duration of the satellite observations using dual GPS/GLONASS dual-frequency receivers. Lengths of vectors as well as the number of vectors, the parameters of which are used determine the position of the point also contribute to the accuracy of point position determination.

The effectiveness of the simultaneous use of the signal of two satellite systems (GPS and GLONASS) and its effect on the accuracy of point position determination with change in the duration of observations sessions has been analyzed. The optimal values of elevation mask have been determined, whose setting is recommended during varying lengths of observation using single- and dual-frequency receivers, which accept the signals of only the GPS system and receivers accepting both systems (GPS and GLONASS). The effect of different types of ephemeris on the accuracy of point positioning in networks with different ranges of baseline lengths has been determined and their choice with the use of satellite signals from GPS only and GPS with GLONASS has been substantiated.

Therefore, obtaining actual parameters of relative static observation techniques will allow the use of advanced GNSS capabilities and optimize the creation of geodetic networks.

Keywords: *GNSS-observations, GPS and GLONASS satellite systems, the accuracy of the vectors lengths, the accuracy of determining the position of points, duration of observation, dual- and single-frequency receivers, geodetic network.*