

УДК 004.722.45

**ОСНОВНІ ДЖЕРЕЛА ПОХИБОК ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ПУНКТІВ
СУПУТНИКОВИМИ ТЕХНОЛОГІЯМИ GNSS У РЕЖИМІ
РЕАЛЬНОГО ЧАСУ**

О. Біда, здобувач

Львівський національний аграрний університет

Постановка проблеми. Практичне застосування однієї з найбільш видатних сучасних розробок – системи глобального позиціонування GPS (Global Positioning System) – точність визначення місцезнаходження об'єкта, яка залежить від ступеня похибки, що виникає при вимірюванні відстаней від терміналу до супутників. Наскільки точно буде визначено місце розташування GPS-приймача, залежить від ступеня впливу низки чинників. Ця похибка може становити один метр або десяток, а то й сотню метрів.

Не припиняються дослідження, пов'язані з урахуванням атмосферного впливу через уточнення модельних формул, трансформування координат. І, хоча всі зазначені питання мають важливе значення, проте більшість із них практично вирішені на технологічному рівні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різноманітним аспектам використання GNSS-методів приділено достатньо багато уваги не тільки у закордонних виданнях, а й в Україні. Принципова різниця у вітчизняних публікаціях з цієї тематики полягає в тому, що в більшості з них наводяться результати досліджень, які ґрунтуються на технологіях початкового етапу розвитку GNSS. Продовжуються аматорські дослідження з визначення фазових центрів GPS-антен, вивчення багатопляховості GPS-сигналів [3], визначення тривалості виконання спостережень, на предмет використання точних ефемерид супутників тощо.

Постановка завдання. Основною метою нашої роботи було проаналізувати сучасні тенденції до визначення всіх можливих джерел похибок GNSS-спостережень.

Виклад основного матеріалу. Під час опрацювання супутникових вимірів виникає необхідність ретельного дослідження впливів усіх можливих джерел похибок, особливостей їхнього виникнення та обґрунтування їх обліку.

Похибки положення супутника на орбіті, які надалі вважатимемо похибками орбіт, виникають внаслідок неточностей прогнозу й розрахунку ефемерид супутників на момент вимірювань [3]. Відомо, що на сучасному етапі розвитку супутникових технологій позиціонування ефемериди супутників поділяють на чотири типи: Broadcast – бортові або трансльовані, Ultra-rapid – надшвидкі, Rapid – швидкі та Final – остаточні. Ці похибки мають систематичний характер і призводить до помилки вимірювання координат близько 0,6 м.

Другим за значенням джерелом помилок є атмосфера, через яку проходять радіохвилі від супутника до приймача. Під час розгляду розповсюдження

радіохвиль атмосферу розділяють на три шари: тропосферу, стратосферу та іоносферу.

Наявність тропосферної складової атмосфери призводить до того, що поширення електромагнітних хвиль супроводжується зменшенням швидкості поширення порівняно з вакуумом (тропосферна затримка); викривленням траєкторії хвилі (рефракція); згасанням (послаблення інтенсивності) та флуктуаціями (випадкові зміни) параметрів хвилі, зумовленими турбулентністю атмосферного повітря. Тропосферна затримка залежить в основному від метеорологічних умов (атмосферного тиску, температури повітря, вологості), а також від висоти супутника над об'єктом. Тропосферна затримка не є дисперсійною, тому зменшити її вплив можна лише застосуванням модельної корекції [2; 5]. Такі затримки сигналів викликають похибки вимірювань псевдовідстаней близько 1 метра.

Іоносфера – це іонізований атмосферний шар у діапазоні висот 50-500 км, що містить вільні електрони. Наявність цих електронів викликає затримку поширення сигналу супутника, яка прямо пропорційна концентрації електронів і обернено пропорційна квадрату частоти радіосигналу. Лінійні комбінації двочастотних вимірів не містять іоносферних похибок першого порядку. Крім того, для часткової компенсації цієї похибки може бути використана модель корекції, яка аналітично розраховується з використанням інформації, що міститься в навігаційному повідомленні. Залишкова іоносферна затримка може спричинити похибку визначення псевдовіддалі близько 10 м.

Для визначення числового значення іоносферної затримки потрібно знати величину ТЕС (Total Electron Content) – інтегральної електронної концентрації, яка становить в середньому $3 \cdot 10^{13}$ ел./см³ [5]. Величина ТЕС може змінюватися залежно від часу доби, сезону року тощо [1; 4].

Багатошляховість розповсюдження сигналу з'являється в результаті вторинного відбиття сигналу супутника від великих перешкод, розташованих у безпосередній близькості від пересувного приймача. При цьому виникає явище інтерференції і виміряна відстань виявляється більшою за дійсну. Найпростіший спосіб уникнути цього виду похибок – це вибір максимально відкритого місця для GNSS-спостережень. Оцінити аналітично цю похибку доволі важко, а її прояв чітко виявляється під час ініціалізації та отримання фіксованого розв'язку [5]. У результаті впливу цього чинника помилка визначення псевдовіддалі може збільшитися на 2,0 м.

Інструментальні похибки приймача зумовлені насамперед наявністю шумів у електронному тракті GNSS-приймача. Відношення сигнал/шум приймача визначає точність процедури порівняння прийнятого від супутника та опорного сигналів, тобто похибку обчислення псевдовідстаней. Тип вибраної антени істотно впливає не тільки на можливість прийняття сигналів від супутників, а й на точність супутникових спостережень. Не менш важливим показником антен є поняття фазового центру, його положення і стабільність у часі. Що стосується зсуву цього центра по вертикалі, то його визначають за допомогою спеціальних досліджень, переважно під час калібрування антени. Процес калібрування досить складний, а

тривалість його для окремої антени становить 2-3 дні. Ефективно зменшити цей вид похибки може високоякісний двочастотний приймач. Наявність цієї похибки призводить до виникнення координатної похибки близько 1,2 м.

При всій точності тимчасових еталонів штучних супутників Землі існує деяка похибка шкали часу апаратури супутника. Вона призводить до виникнення систематичної похибки визначення координат близько 0,6 м.

Обчислюючи сумарну похибку на супутникові виміри, необхідно також врахувати взаємне положення користувача й супутників робочого сузір'я. Для цього вводиться спеціальний коефіцієнт геометричного погіршення точності PDOP (Position Dilution Of Precision), на який треба помножити всі перераховані вище похибки, щоб одержати остаточну похибку. Конфігурація супутників вважається доброю, якщо значення PDOP не перевищує 3, а спостереження необхідно припинити, коли PDOP більше за 6.

Висновки. За походженням похибки GNSS-спостережень можна поділити на три основні групи:

- похибки, пов'язані неточними вихідними даними, з яких основними є похибки ефемерид;
- похибки, пов'язані з впливом зовнішнього середовища: тропосферна та іоносферна затримки сигналу, а також багатошляховість;
- похибки, пов'язані з GNSS-обладнанням (інструментальні джерела похибок).

Бібліографічний список

1. Задемленюк А. В. Дослідження впливу похибок на супутникові вимірювання в RTK-режимі / А. В. Задемленюк // Геодезія, картографія і аерофотознімання : міжвідом. наук.-техн. зб. – Львів, 2010. – Вип. 73. – С. 25–33.
2. Костецька Я. М. Геодезичні прилади. Ч. 2: Електронні геодезичні прилади : підруч. для студентів геодез. спец. вузів / Я. М. Костецька. – Львів : ІЗМН, 2000. – 324 с.
3. Савчук С. Г. Проблемні питання під час використання сучасних супутникових технологій визначення координат / С. Г. Савчук // Геодезія, картографія і аерофотознімання : міжвідом. наук.-техн. зб. – Львів, 2007. – Вип. 69. – С. 20–33.
4. International GNSS Service [Electronic resource]. – Mode of access : <http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>.
5. Seeber G. Satellite Geodesy / G. Seeber // Walter de Gruyter – Berlin ; New-York, 2003. – 588 p.

Біда О. Основні джерела похибок визначення координат пунктів супутниковими технологіями GNSS у режимі реального часу

У статті розкрито основні джерела похибок, що виникають під час супутникових вимірювань у RTK-режимі. Сформовано три групи похибок GNSS-спостережень за походженням.

Ключові слова: похибки, GNSS, іоносфера, супутники, точність.

**Bida O. The main sources of error determining the coordinates of points
GNSS satellite technology RTK**

The article describes the main sources of errors that occur when satellite measurements in RTK mode. Three new errors of GNSS-observations origin.

Key words: errors, GNSS, ionosphere, satellites, accuracy.

**Бида О. Основные источники погрешностей определения координат
пунктов спутниковыми технологиями GNSS в режиме реального времени**

В статье раскрыты основные источники погрешностей, возникающих при спутниковых измерениях в RTK-режиме. Сформированы три группы ошибок GNSS-наблюдений по происхождению.

Ключевые слова: погрешности, GNSS, ионосфера, спутники, точность.