

УДК 528.067.4



А. І. Олещенко



Г. О. Радіонов



О. В. Лиходій



А. І. Воронін

РЕЗУЛЬТАТИ АНАЛІЗУ ВИКОРИСТАННЯ СУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ ОРІЄНТУВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ КООРДИНАТ ОБ'ЄКТІВ

Наведено результати аналізу й оцінювання навігаційних засобів орієнтування та визначення координат об'єктів. Розглянуто радіонавігаційні системи ГЛОНАСС і GPS та структури їх навігаційних радіосигналів. Проведено порівняльну характеристику порядку визначення координат за допомогою навігаційних систем ГЛОНАСС і GPS. Визначено загальні напрями модернізації обох супутникових систем.

Ключові слова: визначення координат об'єкта, навігаційні системи ГЛОНАСС і GPS, структура навігаційних радіосигналів.

Постановка проблеми. Засоби наземної навігації (орієнтування та визначення координат об'єктів), які наразі використовують підрозділи Національної гвардії України (НГУ), за часом підготовки їх до використання і точністю не завжди відповідають вимогам підрозділів НГУ та обставинам, які швидко змінюються. При цьому використовується система координат 1942 р. (СК 42), яка не відповідає сучасним вимогам за точністю виконання службово-бойових і бойових завдань підрозділів. Тому актуальним є завдання аналізу навігаційних засобів орієнтування та визначення координат об'єктів ГЛОНАСС і GPS з тим, щоб отримати максимальний результат від використання цих засобів і визначити загальний напрямок модернізації наведених супутникових систем, пов'язаний з підвищенням точності навігаційних визначень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Слід зазначити, що на цей час різним аспектам використання GNSS-методів приділено доволі багато уваги не тільки у закордонних виданнях, але й у вітчизняних. Принципова різниця у вітчизняних публікаціях з цієї тематики полягає у тому, що в більшості з них наводяться результати досліджень, які ґрунтуються на технологіях початкового етапу розвитку методів GNSS. Продовжуються аматорські дослідження з визначення фазових центрів GPS-антен, вивчення багатошляховості GPS-сигналів, визначення тривалості виконання спостережень на предмет використання точних ефемерид супутників тощо. Не припиняються дослідження, пов'язані з урахуванням

атмосферного впливу на визначення відстаней і координат [7]. Знаючи зсув координатних осей системи СК-42 щодо системи СК-63 на район робіт та параметри трансформації WGS-84-СК-42, закладені у програмне забезпечення фірмою-продавцем або окремими аматорами, теж можна отримувати координати пунктів GPS-спостережень у системі СК-63. І хоча всі зазначені питання мають важливе значення, проте більшість із них практично вирішені на технологічному рівні. Разом з тим у вітчизняних публікаціях геодезичного спрямування мало уваги звертається на сучасні GNSS-технології, особливо це стосується методу RTK [6, 7], питань ефективного виконання та оброблення GPS-спостережень тощо. RTK – це сукупність прийомів і методів знаходження планових координат і висот точок місцевості сантиметрової точності супутниковою системою навігації за допомогою отримання поправок з базової станції, прийнятих апаратурою користувача.

Метою статті є аналіз використання глобальних супутникових радіонавігаційних засобів орієнтування ГЛОНАСС і GPS для визначення координат об'єктів; визначення загальних напрямів модернізації обох супутникових систем і підвищення точності знаходження прямокутних координат.

Виклад основного матеріалу. З давніх часів мандрівники задавалися питанням: як визначити своє місцезнаходження на Землі? Стародавні мореплавці орієнтувалися по зірках, що вказують напрямок руху. З появою компаса завдання істотно було спрощено. Мандрівник уже меншою мірою залежав від погоди.

© А. І. Олещенко, Г. О. Радіонов, О. В. Лиходій, А. І. Воронін, 2017

Ера радіо відкрила нові можливості перед людиною. З появою радіолокаційних станцій стало можливим вимірювати параметри руху і відносно розташування об'єкта по відбитому від його поверхні променю радіолокатора. У 1957 році в СРСР група вчених під керівництвом В. А. Котельникова експериментально підтвердила можливість визначення параметрів руху штучного супутника Землі (ШСЗ) за результатами вимірювань доплерівського зсуву частоти сигналу, який випромінювався цим супутником. Однак, що найголовніше, була встановлена можливість розв'язання оберненої задачі – знаходження координат приймача за виміряним доплерівським зсувом сигналу, який випромінювався зі ШСЗ, якщо параметри руху і координати супутника відомі [1]. Під час руху орбітою супутник випромінює сигнал певної частоти, номінал якої відомий на приймальній стороні (споживач). Положення ШСЗ у кожен момент часу відоме, точніше, його можна обчислити на підставі інформації, закладеної в сигналі супутника. Користувач, вимірюючи частоту сигналу, який до нього прийшов, порівнює її з еталонною і таким чином обчислює доплерівський зсув частоти, яка обумовлена рухом супутника. Вимірювання проводяться безперервно, що дозволяє скласти свого роду функцію зміни частоти Доплера. У певний момент часу частота стає такою, що дорівнює нулю, а потім змінює знак. У момент, коли частота Доплера дорівнює нулю, споживач знаходиться на лінії, яка є нормаллю до вектора руху супутника. Використавши залежність крутості кривої доплерівської частоти від відстані між споживачем та ШСЗ і вимірявши момент часу, коли частота Доплера дорівнює нулю, можна обчислити координати споживача.

Координати місцезнаходження визначають шляхом вимірювання відстані до чотирьох супутників, які для даної точки забезпечують найбільш прийнятні кути візування, а відповідно їм приводять до найменших помилок у вимірюванні відстаней.

Відстані до супутників визначаються часом, який проходить радіосигнал від супутника до приймача на Землі. Для забезпечення ідеальної синхронізації супутників і приймачів за часом на супутниках установлені високоточні атомні еталонні генератори частоти. Проте на приймачах можуть бути встановлені й менш удосконалені хронометри завдяки тому, що їх помилка виправляється одночасним вимірюванням відстаней до чотирьох супутників.

Таким чином, штучний супутник Землі стає радіонавігаційною опорною станцією, координати якої змінюються в часі внаслідок руху супутника орбітою, але заздалегідь можуть бути обчислені для будь-якого моменту часу завдяки ефемеридній інформації, закладеної в навігаційному сигналі супутника.

Після успішного запуску в Радянському Союзі першого штучного супутника Землі, у США в Лабораторії прикладної фізики Університету Джона Гопкінса проводилися роботи, пов'язані з можливістю вимірювання параметрів сигналу, випромінюваного супутником. За вимірами обчислюються параметри руху супутника щодо наземного пункту спостереження. Розв'язання оберненої задачі стає справою часу.

На основі цих досліджень у 1964 р. у США створюється доплерівська супутникова радіонавігаційна система першого покоління "TRANSIT". Основне її призначення – навігаційне забезпечення пуску з підводних човнів балістичних ракет Поларіс. Батьком системи вважається директор Лабораторії прикладної фізики Р. Кершнер. Так само, як і в системі "Цикада", у системі "TRANSIT" координати джерела обчислюються за доплерівським зсувом частоти сигналу одного з видимих супутників. Штатні супутники Землі систем мають колові полярні орбіти. Точність обчислення координат джерела в системах першого покоління великою мірою залежить від похибки визначення швидкості джерела. Так, якщо швидкість об'єкта визначена з похибкою 0,5 м, то це, в свою чергу, призведе до помилки визначення координат – 500 м. Для нерухомого об'єкта ця величина зменшується до 50 м.

Однією з основних проблем, що виникають під час створення супутникових систем, що забезпечують навігаційні визначення по декількох супутниках, є взаємна синхронізація сигналів (шкал часу) супутників з необхідною точністю. Неузгодженість опорних генераторів супутників призводить до помилки у визначенні координат споживача [2]. Друга проблема, з якою зіткнулися розробники у процесі створення високоорбітальних супутникових навігаційних систем, – це високоточне визначення і прогнозування параметрів орбіт ШСЗ. Апаратура приймача під час вимірювання затримки сигналів від різних супутників обчислює координати споживача.

Для цих цілей у 1967 р. військово-морськими силами США розроблено програму, за якою було здійснено запуск супутника TIMATION-I, а у 1969 р. – супутника

TIMATION-II. На борту цих супутників використовувалися кварцові генератори. У той же час військово-повітряні сили США паралельно проводили свою програму з використання широкосмугових сигналів, модульованих псевдошумовим кодом (PRN). Кореляційні властивості такого коду дозволяють використовувати одну частоту сигналу для всіх супутників з кодовим розділенням сигналів від різних супутників. Пізніше, у 1973 р. дві програми були об'єднані в одну загальну під назвою "NAVSTAR-GPS" [2].

Супутникова радіонавігаційна система ГЛОНАСС

Основне призначення супутникових навігаційних радіосистем другого покоління ГЛОНАСС – глобальна оперативна навігація приземних рухомих об'єктів: наземних (сухопутних, морських, повітряних) і низькоорбітальних космічних. Термін "глобальна оперативна навігація" означає, що рухомий об'єкт, оснащений навігаційною апаратурою споживачів, може у будь-якому місці приземного простору в будь-який момент часу визначити (уточнити) параметри

свого руху – три координати і три складові вектора швидкості.

За своєю структурою ГЛОНАСС так само, як і GPS, вважається системою подвійної дії, тобто може використовуватися як у військових, так і цивільних цілях [5]. Система в цілому містить три функціональні частини (у фаховій літературі ці частини називаються сегментами) (рис. 1), зокрема:

- космічний сегмент, в який входить орбітальне угруповання штучних супутників Землі (іншими словами, навігаційних космічних апаратів);
- сегмент керування, наземний комплекс керування (НКК) орбітального угруповання космічних апаратів;
- апаратура користувачів системи.

У системі ГЛОНАСС як радіонавігаційна опорна станція використовуються навігаційні космічні апарати (КА). Повне орбітальне угруповання ГЛОНАСС містить 24 штатних супутники на колових орбітах (рис. 2) з нахилом 64,8° у трьох орбітальних площинах по 8 космічних апаратів у кожній.

Довгооти трьох орбітальних площин

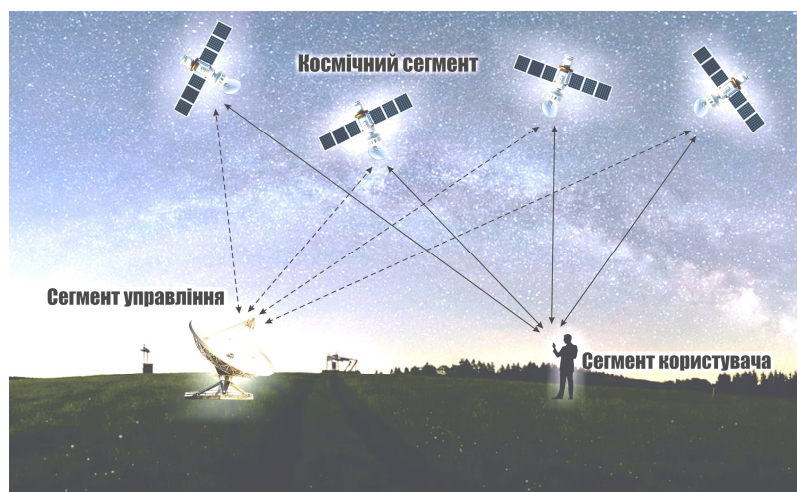


Рис. 1. Сегменти навігаційних систем ГЛОНАСС і GPS

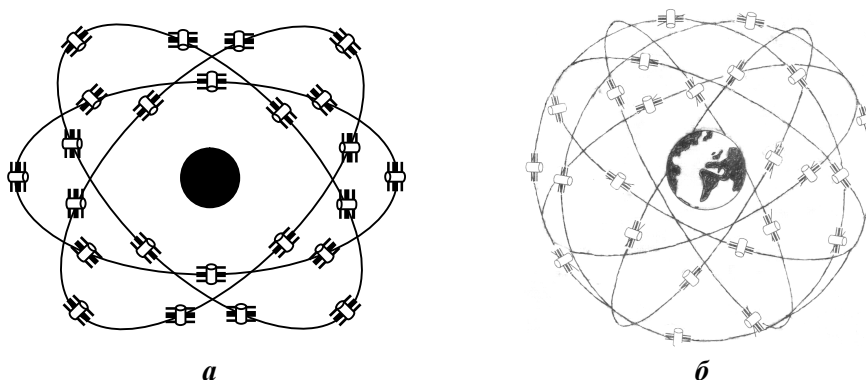


Рис. 2. Космічний сегмент систем ГЛОНАСС і GPS:
 а – повне орбітальне угруповання космічних апаратів ГЛОНАСС;
 б – повне орбітальне угруповання космічних апаратів GPS

відрізняються на 120° . Період обертання космічних апаратів дорівнює 11 год 15 хв 44 с і, відповідно, висота орбіти складає 19 130 км над поверхнею Землі. У кожній орбітальній площині 8 космічних апаратів рознесені по широті через 45° , і широти у трьох орбітальних площинах зсунуті на $\pm 15^\circ$. В апаратурі споживачів здійснюється обчислення координат за вимірними псевдодальностями.

Термін активного існування супутника – 3 роки, за цей час параметри його орбіти не повинні відрізнятися від номінальних значень більше ніж на 5 %. Сам супутник являє собою герметичний контейнер діаметром 1,35 м і довжиною 7,84 м, усередині якого розміщується різного роду апаратура. Живлення всіх систем здійснюється від сонячних батарей. Загальна маса супутника – 1 415 кг. До складу бортової апаратури входять: бортовий навігаційний передавач, синхронізатор (годинник), бортовий керуючий комплекс, система орієнтування і стабілізації та ін.

Становлять інтерес оцінки точності системи ГЛОНАСС, отримані в лабораторії Лінкольна Массачусетського технологічного інституту (МТІ) помилки визначення координат. Аналіз результатів свідчить, що при хороших геометричних факторах точність визначення досить висока. У плані (координати X , Y) у 50 % випадків помилки знаходяться у межах 12 м, у 95 % – 45 м, у 99 % – 77,4 м. По висоті (координата Z) у 50 % випадків помилки знаходяться в межах 30,6 м, у 95 % – 121,7 м, у 99 % – 173,3 м.

Супутникова радіонавігаційна система GPS

На сьогодні найбільш відомою і широко використовуваною у всьому світі супутниковою навігаційною системою є американська GPS, яка застосовується для оперативного високоточного визначення численними рухомими військовими споживачами свого місцезнаходження на суші, на морі, у повітрі та у ближньому космосі, зумовила появу в системі двох каналів вимірювань: стандартної (SPS) і високої (PPS) точності.

Типова помилка визначення координат у каналі GPS (за так званим “грубим” або “відкритим” C/A-кодом) спочатку становила близько 100 м у будь-якій точці Земної поверхні. Саме цей канал вимірювань і був у 1983 р. дозволений для вільного (і безкоштовного) використання будь-якими споживачами всіх країн. Насправді досягається точність вимірювань у цьому каналі дещо вища. Але для усунення цього “прорахунку”

під час створення системи, після перших її випробувань розробниками було передбачено введення спеціальних помилок (названих “режимом селективного доступу” – Selective availability, S/A) у сигнали для виключення можливості занадто точного визначення координат “небажаними елементами”. Проте з 1 травня 2000 р. цей режим було відмінено, і в підсумку точність вимірювань зросла приблизно вдвічі. У каналі PPS (вимірювання по захищеному P-коду) забезпечується точність визначення координат приблизно на порядок вище, ніж у SPS, однак цей канал використовується тільки за основним призначенням системи і закритий для доступу сторонніх споживачів.

Американська система GPS за своїми функціональними можливостями аналогічна системі ГЛОНАСС. Як і система ГЛОНАСС, GPS складається з космічного сегмента, наземного командно-вимірювального комплексу і сегмента користувачів (див. рис. 1). Її основне призначення – високоточне визначення координат споживача, складових вектора швидкості та прив'язка до системної шкали часу [2, 6]. Повне орбітальне угруповання GPS містить 24 штатних супутники на колових орбітах (див. рис. 2) з нахилом 55° у шести орбітальних площинах по 4 космічних апарати у кожній. Період обертання космічних апаратів дорівнює 11 год 58 хв 00 с і, відповідно, висота орбіти складає 20 180 км над поверхнею Землі. В апаратурі споживачів здійснюється обчислення координат за вимірними псевдодальностями. Термін активного існування супутника – 7,5 року.

Головна різниця систем GPS і ГЛОНАСС полягає у різній орбітальній будові угруповань космічних апаратів. Супутники орбітального угруповання GPS знаходяться на 6 колових орбітах висотою приблизно 20 180 км, нахилом 55° і рівномірно рознесені по довготі через 60° .

Дані про характеристики навігаційної системи GPS у різних джерелах розбігаються. Аналіз результатів координат, отриманих у лабораторії Лінкольна МТІ, свідчить, що при хороших геометричних факторах точність визначення досить висока. У плані: у 50 % випадків помилки знаходяться в межах 10,1 м, у 95 % – 43,6 м, 99 % – 66,6 м. По висоті: у 50 % випадків помилки знаходяться в межах 28,0 м, у 95 % – 70,2 м, 99 % – 107,5 м.

Структура навігаційних радіосигналів системи ГЛОНАСС

У системі ГЛОНАСС знаходяться два канали: стандартної (СТ) і високої (ВТ) точності, тобто використовується частотне

розділення сигналів, випромінюваних кожним супутником, – двох фазоманіпульованих сигналів L1 і L2. Сигнал (СТ) на частоті L1 (аналогічний до C/A-коду у GPS) модульований загальнодоступними для всіх користувачів C/A-кодами вільного доступу у зоні видимості КА і захищеними P-кодами. Однак, на відміну від GPS, у ГЛОНАСС не використовується режим навмисного введення додаткових помилок у сигнал стандартної точності.

Сигнал у діапазоні L2 захищений P-кодами та призначений для військових потреб, і його структура не розкривається.

Частота першого сигналу лежить у діапазоні L1 від 1598,06 МГц до 1604,25 МГц, а частота другого – у діапазоні L2 від 1241,33 МГц до 1247,75 МГц. Номінальні значення робочих частот радіосигналів, що передаються у діапазонах L1 і L2, визначаються виразами

$$f_{k1} = f_1 + kDf_1; \quad f_{k2} = f_2 + kDf_2,$$

де $k = 0, 1, \dots, 24$ – номери літерів (каналів) робочих частот супутників;

$$f_1 = 1602 \text{ МГц}; \quad Df_1 = 9/16 = 0,5625 \text{ МГц};$$

$$f_2 = 1246 \text{ МГц}; \quad Df_2 = 7/16 = 0,4375 \text{ МГц}.$$

Визначення координат об'єктів при використанні C/A-кодів відбувається зі зниженою точністю порівняно із P-кодами, які дозволяють визначати положення об'єктів з високою точністю, проте ці коди захищені від несанкціонованого використання.

Для кожного супутника робочі частоти сигналів у діапазоні L1 і L2 когерентні й формуються від одного еталону частоти. Відношення робочих частот кожного супутника:

$$Df_{k1} / Df_{k2} = 7/9.$$

Номінальне значення частоти бортового генератора, з погляду спостерігача, що знаходиться на поверхні Землі, дорівнює 5,0 МГц.

У діапазоні L1 кожен супутник системи ГЛОНАСС випромінює дві частоти, зміщені одна відносно одної по фазі на 90° .

Одна із цих частот піддається фазовій маніпуляції на 180° . Модулюючий сигнал отримують складанням за модулем 2-3 двійкових сигналів:

– грубого далекомірного коду, переданого зі швидкістю 511 Кбіт/с;

– послідовності навігаційних даних, переданих зі швидкістю 50 біт/с;

– меандрового колювання, переданого зі швидкістю 100 біт/с.

Сигнал у діапазоні L1 (аналогічний до C/A-коду у GPS) доступний для всіх споживачів у зоні видимості КА.

Структура навігаційних радіосигналів системи GPS

У системі GPS використовується кодове розділення сигналів, тому всі супутники випромінюють сигнали з однаковою частотою. Кожен супутник системи GPS випромінює два фазоманіпульованих сигнали. Частота першого сигналу становить $L1 = 1575,42$ МГц, а другого – $L2 = 1227,6$ МГц. Сигнал частоти L1 модулюється двома двійковими послідовностями, кожна з яких утворена шляхом підсумовування по модулю 2 далекомірного коду та переданих системних і навігаційних даних, формованих зі швидкістю 50 біт/с. На частоті L2 передаються два квадратурні компоненти двійковими послідовностями. Перша послідовність є сумою по модулю 2 точного далекомірного коду P або засекреченого коду Y та навігаційних даних. Друга послідовність також є сумою по модулю 2 “грубого” (відкритого) C/A-коду і тієї ж послідовності навігаційних даних.

Радіосигнал на частоті L2 використовується тільки однією з двох раніше розглянутих послідовностей. Вибір модулюючої послідовності здійснюється за командою із Землі.

Визначення координат споживача

Принцип, на якому базується робота навігаційних систем, дуже простий – місцеположення об'єкта знаходиться шляхом визначення відстаней від нього до вихідних точок, координати яких відомі. Для того щоб система була доступною на всій Землі й в оточуючому просторі, як вихідні точки вибрані штучні супутники Землі, що випромінюють далекомірні радіосигнали, які користувач приймає на спеціальний приймач. У зв'язку з тим, що супутники рухаються своїми орбітами, система дає користувачеві інформацію про координати ШСЗ на будь-який момент виконання вимірювань.

Метод, який використовується для визначення місцеположення точок, ґрунтується на лінійному геодезичному засіканні. Його сутність зводиться до відомої геометричної задачі: знайти на площині положення точки К, якщо відомі положення двох інших точок А і В та відстані від них до

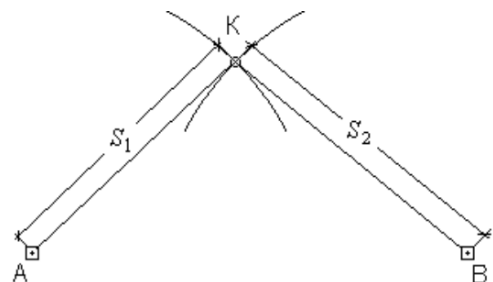


Рис. 3. Лінійне засікання точки К

точки К відповідно S_1 і S_2 (рис. 3).

Точка К, яку визначають, належить одночасно двом колам з радіусами S_1 і S_2 , описаними із центрів А і В, тобто є однією із двох точок перетину цих кіл. В аналітичному вигляді ця задача виражається у вигляді системи двох рівнянь, де X_A, Y_A, X_B, Y_B і X_K, Y_K – прямокутні координати точок на площині. Таким чином, координати X_K, Y_K точки К обчислюються шляхом розв'язання системи двох рівнянь з двома невідомими:

$$\begin{cases} S_1 = \sqrt{(X_A - X_K)^2 + (Y_A - Y_K)^2}, \\ S_2 = \sqrt{(X_B - X_K)^2 + (Y_B - Y_K)^2}. \end{cases}$$

Під час обчислення координат у просторовій системі (рис. 4) вводиться третя координата Z , і для визначення тепер уже трьох шуканих координат X_K, Y_K, Z_K точки К необхідно розв'язати систему із трьох рівнянь:

$$\begin{cases} S_1 = \sqrt{(X_1 - X_K)^2 + (Y_1 - Y_K)^2 + (Z_1 - Z_K)^2}, \\ S_2 = \sqrt{(X_2 - X_K)^2 + (Y_2 - Y_K)^2 + (Z_2 - Z_K)^2}, \\ S_3 = \sqrt{(X_3 - X_K)^2 + (Y_3 - Y_K)^2 + (Z_3 - Z_K)^2}. \end{cases}$$

У процесі розв'язання цієї системи рівнянь просторового лінійного засікання мають бути три вихідних пункти, які не повинні лежати на одній прямій; в іншому випадку система рівнянь не матиме визначеного розв'язку. Кількість вихідних точок, до яких вимірюються відстані, може бути і більше трьох, тоді система рівнянь буде розв'язуватися методом найменших квадратів. Використання надлишкових вимірювань дозволяє підвищити точність визначення

координат і крім того дає ще можливість включення до системи рівнянь додаткових невідомих параметрів, визначення яких необхідно для коректної роботи з навігаційними системами.

Як було зазначено вище, для визначення координат споживача необхідно знати координати супутників (не менше чотирьох) і дальність від споживача до кожного видимого супутника, яка визначається в навігаційному приймачі [5] з точністю близько 1 м. При цьому засікання має забезпечувати для даної точки найбільш взаємні кути візування, які приводять до найменших помилок у вимірюванні відстаней.

Кожен супутник (див. рис. 4) можна подати у вигляді точкового випромінювача. У цьому випадку фронт електромагнітної хвилі буде сферичним. Точкою перетину двох сфер буде та, у якій знаходиться користувач.

Висота орбіт супутників становить від 19 100 км до 20 180 км. Отже, другу точку перетину кіл можна відкинути через апріорні відомості, оскільки вона знаходиться далеко в космосі.

Для того щоб споживач міг визначити координати супутників, випромінювані ними навігаційні сигнали моделюються повідомленнями про параметри їх руху. В апаратурі споживача відбувається виділення цих повідомлень і визначення координат супутників на потрібний момент часу. Процес модуляції полягає у зміні одного або кількох параметрів високочастотного коливання за законом переданого повідомлення. Частоти модулюючого сигналу, як правило, малі порівняно з несучою частотою генератора. Для

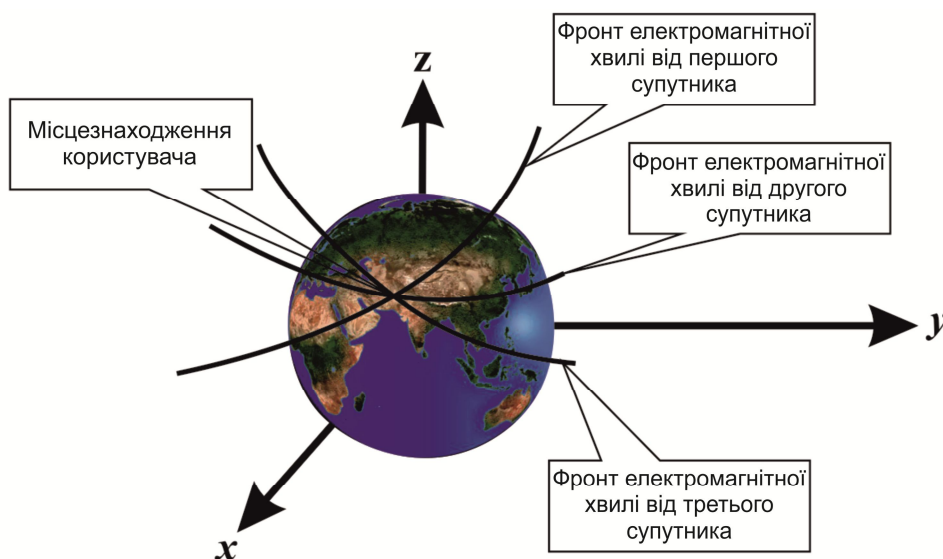


Рис. 4. Визначення просторових координат користувача

здійснення модуляції використовуються різні прийоми. Основна характеристика процесу модуляції – ступінь відповідності між зміною параметра високочастотного колювання та модулюючим сигналом.

Координати і складові вектора швидкості змінюються дуже швидко, тому повідомлення про параметри руху супутників містять відомості не про їх координати і складові вектора швидкості, а про параметри деякої моделі, апроксимуючої траєкторію руху космічних апаратів на досить великому інтервалі часу (близько 30 хв). Параметри апроксимуючої моделі змінюються досить повільно, і їх можна вважати постійними на інтервалі апроксимації. Апроксимація – це наближене вираження одних математичних об'єктів іншими, близькими за значенням, але простішими.

В апаратурі споживача виділяється інтервал часу між моментом часу, на який потрібно визначити положення супутника, і часом визначення координат. За допомогою звичайних формул кеплерівської моделі визначають координати і складові вектора швидкості супутника.

У системі ГЛОНАСС для визначення точного положення супутника використовуються диференціальні моделі руху. У цих моделях координати і складові вектора швидкості супутника визначаються чисельним інтегруванням диференціальних рівнянь руху КА, що враховують кінцеву кількість сил, що діють на КА. Початкові умови інтегрування задаються на вузловий момент часу.

Подані результати оцінки за точністю супутникових навігаційних систем ГЛОНАСС і GPS дозволяють зробити висновок, що точності цих двох систем зрівняні. Проте на сьогодні навігаційну систему ГЛОНАСС все ще не повністю розгорнуто. Крім того, для системи GPS на ринку представлено набагато більше користувачьких навігаційних пристроїв різного призначення і цінкових категорій.

Можна припустити, що більш точних характеристик вдасться досягти у пристроях, які будуть працювати одночасно у двох навігаційних системах і здійснювати спільну обробку інформації від них.

Висновок

Використання сучасних навігаційних систем у Національній гвардії України значно підвищить якість, достовірність і швидкість геодезичних та навігаційних параметрів.

Загальний напрямок модернізації обох супутникових систем ГЛОНАСС і GPS

пов'язаний з підвищенням точності навігаційних визначень, поліпшенням сервісу, що надається користувачам, збільшенням терміну служби і надійності бортової апаратури супутників, поліпшенням сумісності з іншими радіотехнічними системами та розвитком диференціальних підсистем.

Переваги цих систем над іншими полягають у всепогодності та універсальності, простоті в експлуатації, надзвичайно високій точності вимірювань. Швидкість визначення координат об'єктів – моментальна, або безперервна в реальному масштабі часу для рухомих об'єктів. Крім цього GPS може забезпечити даними практично безмежну кількість користувачів. Оскільки система створювалась у першу чергу як військова, вона виключно стійка і надійна, на неї не впливають ні природні, ні штучні перешкоди. Орбіти супутників системи знаходяться на такій висоті, що протидія на них наземних систем малоефективна.

Поряд із цим зазначені системи ГЛОНАСС і GPS мають достатньо високу вартість апаратури споживачів супутникової навігації, а також деякі складнощі для отримання більш високої точності визначення координат об'єктів місцевості.

Одним із варіантів підвищення точності отримання координат та орієнтування на місцевості є створення двостандартного навігаційного приймача, який би міг працювати як із системою GPS, так і з системою ГЛОНАСС. Спільна обробка навігаційних визначень від двох систем має, на думку фахівців, суттєво збільшити точність навігаційних вимірів.

Такі приймачі були створені в Україні виробничим об'єднанням “Оризон-навігація”. Вони успішно пройшли державні випробовування і прийняті на озброєння.

Загальні напрямки розвитку систем ГЛОНАСС і GPS збігаються, але динаміка і досягнуті результати дуже різняться.

Список використаних джерел

1. Соловьев, Ю. А. Системы спутниковой навигации [Текст] / Ю. А. Соловьев. – Москва : Эко-Трендз, 2000. – 267 с.
2. Глобальная спутниковая радионавигационная система ГЛОНАСС [Текст] / под ред. В. Н. Харисова, А. И. Перова, В. А. Болдина. – Москва : ИПРЖР, 1998. – 400 с.
3. Липкин, И. А. Спутниковые навигационные системы [Текст] / И. А. Липкин. – Москва : Вузовская книга, 2001. – 288 с.
4. Баран, П. І. Визначення тривалості GPS-спостережень в геодезичних мережах [Текст] /

П. І. Баран, В. Я. Чернокін // Вісник геодезії та картографії. – Київ, 2004. – № 4. – С. 12–15.

5. Глотов, В. М. Оцінка впливу додаткового відбиття GPS-сигналів на точність визначення місцеположення [Текст] / В. М. Глотов, К. Р. Третьяк // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2007. – № 69. – С. 15–18.

6. Глотов, В. М. Оцінка впливу багатошляховості поширення GPS-сигналів на точність визначення координат об'єктів [Текст] / В. М. Глотов, К. Р. Третьяк, О. Полець // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : зб. наук. пр. – Львів : Львівська політехніка, 2007. – Вип. II (14). – С. 129–133.

7. Костецька, Я. До питання тривалості GPS-спостережень [Текст] / Я. Костецька, І. Торопа, О. Фок // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва : зб. наук. пр. – Львів : Львівська політехніка, 2005. – Вип. I (13). – С. 125–138.

Стаття надійшла до редакції 20.10.2017 р.

Рецензент – доктор військових наук, професор Г. А. Дробаха, Національна академія Національної гвардії України, Харків, Україна

УДК 528.067.4

А. И. Олещенко, Г. А. Радионов, А. В. Лиходий, А. И. Воронин

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СРЕДСТВ ОРИЕНТИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ ОБЪЕКТОВ

Приведены результаты анализа и оценки навигационных способов ориентирования и определения координат объектов. Рассмотрены навигационные системы ГЛОНАСС и GPS, а также структуры их навигационных радиосигналов. Проведена сравнительная характеристика нахождения координат посредством навигационных систем ГЛОНАСС и GPS. Определены общие направления модернизации обеих спутниковых систем.

Ключевые слова: *определение координат объекта, навигационные системы ГЛОНАСС и GPS, структура навигационных радиосигналов.*

UDC 528.067.4

A. I. Oleshchenko, G. O. Radionov, O. V. Lykhodyi, A. I. Voronin

USE OF GLOBAL SATELLITE RADIONAVIGATION MEANS OF ORIENTATION AND DEFINITION OF THE OBJECTS COORDINATE

The article presents the assessment of navigational AIDS orientation and positioning of the object. Reviewed navigation systems GLONASS and GPS. The navigation structure of their radio signals. Comparative description of location coordinates by means of navigation systems GLONASS and GPS. Defined in the General directions of modernization of both satellite systems.

Keywords: *determination of the coordinates of the object navigation systems GLONASS and GPS, the navigation structure of the signals.*

Олещенко Анатолій Іванович – старший викладач кафедри тактики Національної академії Національної гвардії України

Радіонов Геннадій Олександрович – кандидат військових наук, заступник начальника кафедри тактики Національної академії Національної гвардії України

Лиходій Олександр Васильович – старший викладач кафедри тактики Національної академії Національної гвардії України

Воронін Антон Ігорович – інженер кафедри тактики Національної академії Національної гвардії України