

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

УДК 654.9

«Допущено до захисту»

Завідувач кафедри біомедичної
інженерії та телекомунікацій
к.т.н., доц. Нікітчук Т.М.

« 14 » грудня 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Дослідження систем визначення місцеположення об'єкта

за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітній ступінь «магістр»

Виконавець роботи
студент 2 курсу, гр.ЗТРМ-20-1

10.12.2021
(дата, підпис)

Смірнова І.Г.

Керівник роботи
к.т.н., доц.

10.12.2021
(дата, підпис)

Дубина О.Ф.

Житомир
2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної магістерської роботи

на тему _____ Дослідження системи визначення місцеположення об'єкта

Виконав: студент 2 курсу,
групи ЗТРм-20-1 спеціальності
172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Смірнова І.Г.

Керівник Дубина О.Ф.

Рецензент Нікітчук Т.М.

Житомир
2021

«Затверджено»

Завідувач кафедри біомедичної
інженерії та телекомунікацій

Т.М. Нікітчук

« 21 » січня 2021 р.

Завдання на кваліфікаційну магістерську роботу

Смірнова Іванна Геннадіївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження системи визначення місцеположення об'єкта.
затверджено наказом по університету від «08» 11 2021 р. № 547/с

2. Мета дослідження: вивчення можливості сумісного використання двох систем супутникового позиціонування GPS, ГЛОНАСС.

3. Вихідні дані (характеристики об'єкта, умов дослідження та ін.) характеристики і параметри системи GPS, ГЛОНАСС. Результати вимірювання системами GPS, ГЛОНАСС.

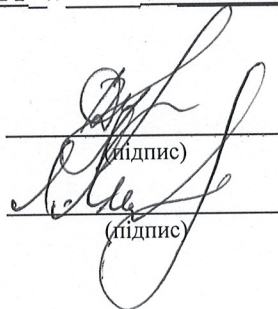
4. Основні задачі дослідження: аналіз систем автоматичного позиціонування, дослідження можливостей сумісного використання двох супутникових систем позиціонування

5. Термін подання роботи до захисту грудень 2021 р.

6. Дата видачі завдання « 21 » 01 2021 р.

Науковий керівник

Завдання прийняв
до виконання


(підпис)

Дубина О.Ф.

(прізвище, ініціали)

Смірнова І.Г.

(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

В магістерській роботі здійснено аналіз систем автоматичного позиціонування, аналіз сучасних систем супутникового позиціонування GPS і ГЛОНАСС, їх принцип дії, переваги та недоліки, особливості застосування. Проведено дослідження визначення місцеположення об'єкта. з використанням системи супутникового позиціонування. Для підвищення точності використовується одночасно системи позиціонування GPS та ГЛОНАСС.

ANNOTATION

In the master's thesis the analysis of automatic positioning systems, the analysis of modern satellite positioning systems GPS and GLONASS, their principle of operation, advantages and disadvantages, features of application are carried out. A study of the location of the object was conducted. using a satellite positioning system. GPS and GLONASS positioning systems are used simultaneously to increase accuracy.

РЕФЕРАТ

Дипломна робота має на меті аналіз систем автоматичного позиціонування, аналіз сучасних систем супутникового позиціонування GPS і ГЛОНАСС, їх принцип дії, переваги та недоліки, особливості застосування. Також, дослідження можливостей сумісного використання двох супутникових систем позиціонування GPS, ГЛОНАСС.

Дана дипломна робота містить: сторінок – 61, таблиць – 5, рисунків – 5.

1. В першому розділі здійснено огляд та аналіз систем автоматичного позиціонування. Проведено аналіз класифікації та характеристик систем автоматичного позиціонування, методів позиціонування.

2. В другому розділі проведено аналіз сучасних систем супутникового позиціонування GPS і ГЛОНАСС, їх принцип дії, переваги та недоліки, особливості застосування.

3. В третьому розділі проведено дослідження можливостей сумісного використання двох супутникових систем позиціонування.

Ключові слова: GPS, ГЛОНАСС, система позиціонування, визначення місцеположення.

Мета: дослідження можливості сумісного використання двох систем супутникового позиціонування GPS, ГЛОНАСС.

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

AVLs	Automatic Vehicle Location system
КП	Контрольний пункт
СРНС	Супутникова радіонавігаційна система
AVLS	Automatic Vehicle Location System
APRS	Automatic Position Reporting System
ПКА	Підсистема космічних апаратів
ШСЗ	Штучний супутник Землі
НС	Навігаційний супутник
ПКУ	Підсистема контролю та управління
КВК	Командно-вимірювальний комплекс
АП	Апаратура споживачів
ПІ	Прийомоіндикатори

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ	10
1.1 Класифікація та характеристика систем автоматичного позиціонування	10
1.2 Аналіз методів позиціонування.....	15
1.2.1 Системи з урахуванням методів наближення.....	15
1.2.2 Методи визначення по радіочастоті та радіопеленгації.....	17
1.2.3 Навігаційні системи пошуку та стеження.....	22
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	29
2.1 Структура супутникової радіонавігаційної системи.....	29
2.1.1. Підсистема космічних апаратів.....	30
2.1.2. Наземний командно-вимірювальний комплекс.....	31
2.1.3. Взаємодія підсистем СРНС у процесі визначення поточних координат супутників.....	33
2.1.4. Основні навігаційні характеристики НС.....	34
2.2. СРНС ГЛОНАСС.....	36
2.2.1. Структура та основні характеристики.....	36
2.2.2. Призначення та склад підсистеми контролю та управління.....	37

2.2.3. Наземний сегмент.....	37
2.2.4. Центр керування системою.....	38
2.2.5. Контрольні станції.....	39
2.2.6. Ефімеридне забезпечення.....	40
2.2.7. Особливості формування ефімеридної інформації у ГЛОНАСС.....	40
2.3. Система глобального позиціонування GPS.....	42
2.3.1. Принцип роботи.....	42
2.3.2. Геометрія супутника-користувача.....	44
2.3.3 Структура GPS.....	45
2.3.4. Формат повідомлень.....	50
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ	
МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ.....	53
ВИСНОВОК.....	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63

ВСТУП

Останнім часом широкого поширення в усьому світі набули системи та комплекси технічних засобів визначення місцезнаходження рухомих об'єктів. Вони поділяються за методами визначення координат об'єктів, способів передачі між рухомими об'єктами і диспетчерськими пунктами, логікою побудови. Однак у всіх цих системах має виконуватися умова – можливість для споживача самостійно визначати її основні параметри: зона роботи системи; тип транспорту, що контролюється; частота оновлення інформації про рухомий об'єкт; перелік завдань, що розв'язуються системою.

Останнім часом набули широкого застосування супутникові системи навігації із-за їх масштабності і зручності. Досить часто виникає задача використання сумісних даних різних навігаційних систем для визначення положення одного об'єкта.

Мета: дослідження можливості сумісного використання двох систем супутникового позиціонування GPS, ГЛОНАСС.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проведення огляду та аналіз систем автоматичного позиціонування. Проведено аналіз класифікації та характеристик систем автоматичного позиціонування, методів позиціонування.
2. Проведення аналізу сучасних систем супутникового позиціонування GPS і ГЛОНАСС, їх принципів дії, переваг та недоліків, особливостей застосування.
3. Проведення дослідження можливостей сумісного використання двох супутникових систем позиціонування.

Об'єкт дослідження: системи визначення положення об'єктів.

Предмет дослідження: супутникові системи позиціонування.

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ

Сучасні системи автоматичного (автоматизованого) позиціонування транспортних засобів - AVL (Automatic Vehicle Location system), що виконують ці завдання, автоматично визначають координати транспортного засобу в групі йому подібних у міру його переміщення в межах певної території. Система AVL зазвичай складається з підсистеми позиціонування, підсистеми передачі даних та підсистеми управління та обробки даних [1].

1.1 Класифікація та характеристика систем автоматичного позиціонування

По території охоплення системи позиціонування транспортних засобів умовно можна поділити на такі зони покриття:

- глобальну, яка охоплює земну кулю, материки чи території кількох держав;
- регіональну, обмежену, зазвичай, межами населеного пункту, області, регіону;
- локальну (зональну) – розраховану на малий радіус дії (територія міста, області), що характерно в основному для систем дистанційного супроводу та пошуку викрадених автомобілів.

З точки зору реалізації функцій визначення системи «AVL» характеризуються такими технічними параметрами, як точність визначення місця та періодичність уточнення даних. Ці параметри багато в чому залежить від зони дії «AVL» -системи. Чим менший розмір зони дії, тим вищою має бути точність визначення місця розташування.

Так, для локальних систем, що діють на території міста, вважається достатньою точність визначення місцезнаходження (звана також зоною невизначеності положення) від 100 до 200 м. Деякі спеціальні системи

вимагають точності до одиниць метрів, для глобальних систем буває достатньо точності до одиниць кілометрів. Періодичність уточнення даних може коливатися від кількох хвилин до години.

Глобальна зона покриття зазвичай потрібна для контролю міжнародних перевезень, і відстані між рухомим об'єктом та диспетчерським пунктом можуть бути кілька тисяч кілометрів. Тому найбільш прийнятне рішення для реалізації системи такого масштабу – використання супутників: каналів зв'язку. Системи супутникового рухомого зв'язку, застосовувані з метою контролю рухомих об'єктів, своєю чергою, можна розділити на системи:

- з урахуванням геостационарних супутників;
- на базі низько- та середньоорбітальних супутників.

Переважна більшість систем контролю далеких перевезень полягає в використанні геостационарних супутників. Це системи Inmarsat[2], OmniTracs[3], EutelTracs[4], Prodat та інші. Розглянемо деякі з них докладніше.

Система «Inmarsat», базуючись на геостационарних супутниках, забезпечує передачу інформації між рухомим об'єктом та диспетчерським пунктом по всій території земної кулі, крім приполярних областей. Час доставки інформації у системі становить 5-15 хвилин залежно від організації диспетчерського пункту. Для контролю далеких перевезень такий час доставки інформації цілком прийнятно, і період оновлення інформації про стан об'єкта, що контролюється, вибирається зазвичай в 1 годину.

Випускається кілька видів абонентських терміналів, які з урахуванням специфіки застосування відрізняються функціональними можливостями. У комплект рухомого об'єкта зазвичай входить:

- супутникова станція;
 - поєднана «Inmarsat/GPS» антена;
 - бортовий комп'ютер;
- набір датчиків.

Габарити мобільного комплексу такі, що без проблем встановлюється на легковий автомобіль. Бортний комп'ютер забезпечує автоматичну

передачу навігаційної інформації на диспетчерський пункт за запрограмованою тимчасовою сіткою або у разі виникнення нештатної ситуації (спрацювання датчика температури, тривожної кнопки). Точність визначення місцезнаходження становить близько 100м.

Система EutelTracs з точки зору споживача, має схожі з Inmarsat характеристики компонентів. Склад мобільних терміналів та функціональні можливості систем практично однакові, але вони використовують різні частотні діапазони. Мобільний термінал системи EutelTracs за своїми розмірами більше підходить для установки на вантажні машини.

Системи з урахуванням низькоорбітальних супутників, такі, наприклад, як «Iridium, Orbcomm»[5], надають такі самі послуги, як і геостационарні системи. Основна їхня відмінність одна від одної полягає в тому, що перші складаються з низькоорбітальних супутників з невеликою висотою орбіти (менше 1000 км). Для споживача це означає, що їхні супутникові термінали мають менші розміри та низькі ціни.

Система Iridium має глобальну зону покриття за рахунок великої кількості космічних апаратів, кількість яких становить 66. Вона передбачає великий перелік послуг:

- телефонний зв'язок;
- передача алфавітно-цифрових повідомлень на пейджер;
- переадресація виклику;
- конференц зв'язок;
- передача факсимільних повідомлень;
- голосова пошта.

Система Orbcomm призначається, в основному, для автоматизованого збору інформації про стан об'єктів, надання послуг електронної пошти, вирішення навігаційних завдань.

До систем, що забезпечують регіональну зону покриття, належать системи контролю рухомих об'єктів, у яких об'єкти не віддаляються від диспетчерського пункту далі фіксованої відстані (зазвичай трохи більше 1000

км). У цих системах потрібно підтримувати голосовий зв'язок між об'єктом та диспетчером, оперативно доставляти інформацію про місцезнаходження та стан транспортних засобів. Досить умовно до цього розряду можна віднести системи з урахуванням:

- транкового (транкінгового) зв'язку;
- стільникового зв'язку;
- короткохвильового зв'язку.

Системи на базі транкового зв'язку можуть покривати значні площі, дозволяючи здійснювати «автороумінг» та «автопатчинг», тобто в них, за рахунок зв'язку окремих ретрансляторів в єдину логічну структуру, споживач позбавляється необхідності піклуватися про перемикання радіочастотних каналів при переміщенні в рамках усієї системи.

У світі розгорнуті та експлуатуються транкові системи різних стандартів: «SmartTrunk, MPT 1327, LTR, SmartZone, EDACS».

Системи основані на використанні стільникового зв'язку стають все більш популярними та поширеними. Багато фірм випускають обладнання та пропонують закінчені системи. Широке застосування цих систем стримують висока ціна бортового комплексу та проблеми перевантаження системи зв'язку.

Поряд з тим, що у багатьох склалося враження про ненадійність зв'язку на коротких хвилях через вплив великої кількості факторів на її якість. Короткохвильовий зв'язок дозволяє здійснювати передачу даних по каналу з високим ступенем надійності та з досить високою швидкістю. Це обумовлено поєднанням сучасних технологій та достатньої кількості резервних радіочастот.

Найбільш цікаві в цьому напрямі розробки австралійських фірм Coden та Barret. Радіостанції цих фірм мають вбудований механізм автоматичного пошуку каналу зв'язку, що забезпечує вирішення задачі знаходження каналу найкращого проходження сигналу протягом сеансу зв'язку. Для передачі цифрової інформації передбачено вбудований модем.

Системи локальної зони покриття працюють, як правило, у радіусі до 100 км і найчастіше використовуються для забезпечення внутрішньоміських перевезень та пошуку викрадених автомобілів. У таких системах можуть використовуватися системи космічного, стільникового, транкового та короткохвильового зв'язку окремо один про одного або в різних поєднаннях.

За своїм призначенням AVL можна розділити на системи:

- диспетчерські;
- дистанційного супроводу;
- відновлення маршруту.

Диспетчерські системи - це системи, в яких здійснюється централізований контроль у певній зоні за місцем розташування та переміщенням рухомих об'єктів у реальному масштабі часу одним або декількома диспетчерами, що знаходяться у стаціонарних обладнаних диспетчерських центрах; це можуть бути системи оперативного контролю переміщення патрульних автомашин, контролю рухомих об'єктів, системи пошуку викрадених автомобілів.

Системи дистанційного супроводу – це системи, в яких здійснюється дистанційний контроль переміщення рухомого об'єкта за допомогою спеціально обладнаної автомашини чи іншого транспортного засобу; найчастіше такі системи використовуються під час супроводу цінних вантажів чи контролі переміщення транспортних засобів.

Системи відновлення маршруту - це системи, що вирішують завдання визначення маршруту чи місць перебування транспортного засобу в режимі подальшої обробки на основі отриманих тим чи іншим способом даних; подібні системи застосовуються під час контролю переміщення транспортних засобів, а також з метою отримання статистичних даних про маршрути.

У тому випадку, коли вимога отримання інформації в реальному масштабі часу не є обов'язковою, однією з найдешевших систем контролю рухомих об'єктів є використання бортового накопичувача параметрів руху транспортних засобів. Останній працює в режимі «чорної скриньки», тобто

здійснює запис координат точок маршруту руху із зазначенням часу їх проходження, а також фіксує додаткову телеметричну інформацію, наприклад, температуру в рефрижераторі, витрата палива, факти відкриття дверей фургона.

Для зональних диспетчерських систем ідеальною може вважатися отримання даних про місцезнаходження рухомого об'єкта до одного разу на хвилину. Системи дистанційного супроводу потребують більшої частоти оновлення інформації.

Конкретні реалізації «AVL»-систем часто включають до свого складу технічні засоби, що забезпечують кілька способів позиціонування.

1.2 Аналіз методів позиціонування

Методи позиціонування за класифікацією можна розбити на три основні категорії:

- методи наближення (зонові);
- методи навігаційного числення;
- методи позиціонування по радіочастоті [1,2].

1.2.1 Системи з урахуванням методів наближення. Для визначення розташування рухомого об'єкта біля міста створюється мережа контрольних зон. Це досягається за допомогою використання досить великої кількості дорожніх вказівників або контрольних пунктів (КП1 – КПn), точне місце розташування яких у системі відоме. Розташування транспортного засобу визначається у міру проходження останніх зон дії цих пунктів. Індивідуальний код кожного контрольного пункту передається при цьому радіоканалом у бортову апаратуру транспортного засобу, яка, у свою чергу, через підсистему передачі даних передає цю інформацію, а також свій ідентифікаційний код в підсистему управління та обробки даних. Отже, реалізується метод прямого наближення. Дані про розташування транспортного засобу відображаються на

екрані моніторів диспетчерського пункту (можливе відображення на карті місцевості). Достовірність отриманої інформації багато в чому залежить від кількості та розташування контрольних пунктів.

Однак на практиці частіше використовується інверсний метод наближення: виявлення та ідентифікація транспортних засобів здійснюється за допомогою встановлених на них активних, пасивних або напівактивних малопотужних радіомаяків, що передають на приймач контрольного пункту свій індивідуальний код, або за допомогою оптичної апаратури зчитування та розпізнавання характерних ознак об'єкта, наприклад, автомобільні номери. Інформація від контрольних пунктів передається далі в підсистему управління та обробки даних.

Для зонних систем точність місцезнаходження та періодичність оновлення даних безпосередньо залежить від густини розташування контрольних пунктів на території дії системи. Методи наближення вимагають розвиненої інфраструктури зв'язку для організації підсистеми передачі даних з великої кількості таких пунктів до центру управління та контролю, а у разі використання оптичних методів зчитування - вимагають і складної апаратури, яка використовується на всіх контрольних пунктах, і тому дуже дорогі при побудові систем, що охоплюють великі території. У той же час, інверсні методи наближення дозволяють мінімізувати обсяг бортової апаратури - радіомаяка, або зовсім обійтися без апаратури, що встановлюється на автомашину. Основне застосування даних систем – комплексне забезпечення охорони автомашин, забезпечення пошуку автомашин при угоні. У багатьох країнах зонні системи функціонують вже тривалий час, як потреб диспетчеризації громадського транспорту, що рухається по постійним маршрутам, так потреб правоохоронних органів [1].

Однак на практиці частіше використовується інверсний метод наближення: виявлення та ідентифікація транспортних засобів здійснюється за допомогою встановлених на них активних, пасивних або напівактивних малопотужних радіомаяків, що передають на приймач контрольного пункту

свій індивідуальний код, або за допомогою оптичної апаратури зчитування та розпізнавання характерних ознак об'єкта, наприклад, автомобільні номери. Інформація від контрольних пунктів передається далі в підсистему управління та обробки даних.

Очевидно, що для зонових систем точність місцезнаходження та періодичність оновлення даних безпосередньо залежить від густини розташування контрольних пунктів на території дії системи. Методи наближення вимагають розвиненої інфраструктури зв'язку для організації підсистеми передачі даних з великої кількості таких пунктів до центру управління та контролю, а у разі використання оптичних методів зчитування - вимагають і складної апаратури, яка використовується на всіх контрольних пунктах, і тому дуже дорогі при побудові систем, що охоплюють великі території. У той же час, інверсні методи наближення дозволяють мінімізувати обсяг бортової апаратури - радіомаяка, або зовсім обійтися без апаратури, що встановлюється на автомашину. Основне застосування даних систем – комплексне забезпечення охорони автомашин, забезпечення пошуку автомашин при угоні. Прикладом такої системи є система КОРЗ, що забезпечує фіксацію наближення викраденої обладнаної автомашини до пост-пікету ДІБДР. У багатьох країнах зонові системи функціонують вже тривалий час, як потреб диспетчеризації громадського транспорту, що рухається по постійним маршрутам, так потреб правоохоронних органів [1].

1.2.2 Методи визначення по радіочастоті та радіопеленгації.

Розташування транспортного засобу визначається шляхом вимірювання різниці відстаней транспортного засобу від трьох або більше відносних позицій.

Цю групу методів можна умовно розбити на дві підгрупи:

-радіопеленгація (узагальнено), коли абсолютне або відносне розташування рухомого об'єкта визначається при прийомі радіосигналу, що випромінюється ним, мережею стаціонарних або мобільних приймальних пунктів;

-обчислення координат за результатами прийому спеціальних радіосигналів на борту рухомого об'єкта (методи прямої або інверсної радіонавігації) [2].

За допомогою розподіленої по території міста мережі пеленгаторів або за допомогою мобільних засобів пеленгації можливе відстеження розташування об'єктів, обладнаних радіопередавачами-маяками.

На практиці метод пеленгації, як найдешевший у початкові роки становлення систем супутникової навігації (коли вартість супутникових приймачів вимірювалася тисячами доларів), було випробувано поліцейськими та пожежними службами США та Канади. Результати дослідної експлуатації системи показали, що вона може добре використовуватися на відкритій місцевості. Проте ця система має великі похибки за умов щільної міської забудови. Крім того, вартість інфраструктури, необхідної для охоплення значної площі, дуже велика. Нині цей метод використовується дуже рідко.

Методи радіонавігації. Космічна радіонавігація реалізувала нові досягнення комп'ютерних і телекомунікаційних технологій. Поєднання супутникової системи позиціонування, сучасного радіозв'язку та електронної картографії дозволяє визначати місце розташування та швидкість транспортного засобу, обчислювати відстані, прокладати маршрути та відстежувати їх дотримання, отримувати довідки про картографічні об'єкти. Сьогодні працюють дві системи: "Navstar" та "ГЛОНАСС". Використання обох систем дозволяє більш точно визначати координати та підвищує надійність функціонування.

Методи на основі радіонавігації реалізуються в системах «AVL» на основі імпульсно-фазових наземних навігаційних систем (типу LORAN-C, Чайка) та супутникових середньоорбітальних навігаційних систем (СРНС) «Navstar»[8] та «ГЛОНАСС». Найкращі точнісні та експлуатаційні характеристики в даний час мають супутникові навігаційні системи, в яких досягається точність визначення місцезнаходження в стандартному режимі не менше 50-100 м, а із застосуванням спеціальних методів обробки інформаційних сигналів у режимі фазових визначень або диференціальної

навігації - до одиниць метрів.

Найвідомішою є глобальна супутникова радіонавігаційна система Navstar (Navigation System using Timing And Ranging) або GPS (Global Positioning System), створена для високоточного навігаційно-часового забезпечення об'єктів, що рухаються в космосі, повітрі, на землі та воді.

До її складу входять навігаційні супутники, наземний комплекс управління та апаратура споживачів (користувачів). Використаний у системі принцип полягає в тому, що спеціальні приймачі, встановлені у споживачів, вимірюють дальність кількох супутників і визначають свої координати по точках перетину поверхонь рівного видалення.

Навігаційні сигнали випромінюються на двох частотах L-діапазону (смуга радіочастот 390-1580 МГц):

частота L1 – 1575,42 МГц;

частота L2 – 1227,6 МГц.

На частоті L2 випромінюються сигнали з військовим кодом P(Y) з високоточною інформацією (precision - точний або protected - захищений), захищеним від імітаційних перешкод.

P-код являє собою послідовність псевдовипадкових бістабільних маніпуляцій фази несучої частоти (Carrier Frequency) з частотою проходження, що дорівнює 10,23 МГц і періодом повторення в 267 діб. Кожен тижневий сегмент цього коду є унікальним для одного із супутників GPS і безперервно генерується ним протягом кожного тижня, починаючи з ночі з суботи на неділю.

На частоті L1 випромінюються сигнали і з військовим кодом P(Y), і загальнодоступним цивільним кодом (Civilian Code), який часто називають C/A (Clear Acquisition - код вільного доступу). Прийом сигналу за кодом P(Y) забезпечує роботу як PPS (Precise Positioning Service - висока точність вимірів). Порівняння часу приходу сигналів на частотах L1 та L2 дозволяє обчислювати додаткову затримку, що виникає при проходженні радіохвиль через іоносферу, що значно підвищує точність вимірювань навігаційних даних.

Прийом на частоті L1 з кодом C/A не дозволяє визначити помилки, які вносяться іоносферою. Структура коду C/A забезпечує найгірші характеристики у режимі SPS (Standart Positioning Service – стандартна точність вимірювань). Так, якщо в режимі PPS з ймовірністю 0,95 помилки вимірювання широти та довготи не перевищують 22-23 метри, висоти 27-28 метрів та часу 0,09 мкс, то в режимі SPS вони збільшуються відповідно до 100, 140 метрів та 0, 34 мкс. Середньоквадратична помилка визначення довготи і широти у режимі PPS становить трохи більше 8 метрів, а SPS - трохи більше 40 метрів. Міністерство оборони США, виходячи з інтересів національної безпеки, здійснює «штучне» погіршення точності в режимі S/A (Selective Availability – обмежений доступ). Спочатку режим SPS був необхідний для грубого визначення користувачем своїх координат при вході в код P(Y). В даний час рівень електроніки, програмного забезпечення та методів обробки навігаційної інформації дозволяє здійснювати досить швидке захоплення P(Y) без коду C/A, а також проводити високоточні визначення сигналу фази несучої. Крім того, повністю відпрацьований наземний автоматичний режим диференціальної корекції (Differential Positioning), дозволяє в обмеженому регіоні отримувати точне визначення відносних координат взаємного розташування двох приймачів, відстежувати сигнали тих самих супутників «GPS». Наприклад, штатні системи навігації транспорту при використанні цивільного C/A коду визначають координати автомобіля з точністю від 2 до 5 метрів.

Крім того, реалізуються проекти для контролю за транспортом на будь-яких відстанях із використанням GPS та глобальної системи мобільного зв'язку «Inmarsat».

Достоїнствами даного методу є глобальність визначення місця, що дозволяє застосовувати його практично на будь-яких територіях і трасах будь-якої протяжності, хороша точність, можливість визначити положення об'єкта на карті місцевості, здатність визначати не тільки координати, але і висоту, швидкість і напрямок руху об'єкта, високий ступінь сумісності з

автоматизованими системами обробки інформації. Не випадково у подібних систем найширша сфера застосування. Це системи диспетчеризації міського та спеціального транспорту, забезпечення безпеки транспорту та матеріальних цінностей, що працюють у реальному масштабі часу на території міста з десятками та сотнями рухомих об'єктів. Це системи контролю маршрутів транспорту, що здійснює дальні міжміські та міжнародні перевезення (з передачею інформації про маршрут за допомогою глобальних систем зв'язку типу Inmarsat або з пасивним накопиченням інформації про маршрут із подальшою обробкою) [3].

Методи навігаційного числення. Дані методи позиціонування транспортних засобів засновані на вимірюванні параметрів руху автомашини за допомогою датчиків прискорень, кутових швидкостей в сукупності з датчиками пройденого шляху і датчиками напрямку і обчисленні на основі цих даних поточного розташування рухомого об'єкта відносно відомої початкової точки. У цілому нині дані методи можна використовувати у тих системах, як і методи, засновані на радіонавігації. Основна їхня перевага в порівнянні з методами радіонавігації - незалежність від умов прийому навігаційних сигналів бортовою апаратурою. На території сучасного міста із щільною забудовою високими будинками можуть зустрічатися ділянки, де утруднено прийом сигналів від наземних і навіть супутникових навігаційних систем. На таких ділянках бортова навігаційна апаратура не може обчислити координати рухомого об'єкта. Приймальні антени радіонавігаційних систем повинні розміщуватись на автомашинах з урахуванням забезпечення найкращих умов прийому навігаційних сигналів. Це робить їх уразливими для зловмисників у разі застосування для потреб охорони автомашин або вантажів, що перевозяться ними. Існуючі методи камуфлювання (маскування) приймальних антен досить складні та дорогі.

Методи розрахунку шляху та інерційної навігації вільні від цих недоліків, оскільки апаратура повністю автономна і може бути інтегрована в конструктивні елементи автомашини з метою утруднення їх виявлення та

захисту від умисного виведення з ладу.

Недоліки методів навігаційного розрахунку:

- необхідність корекції параметрів руху через накопичувані помилки вимірювання;
- досить великі, загалом, габарити бортової апаратури;
- відсутність доступної малогабаритної елементної бази для створення бортової апаратури (акселерометрів, автономних обчислювачів пройденого шляху, датчиків спрямування);
- складність обробки параметрів руху

Найбільш перспективним напрямом застосування подібних методів можна вважати їхнє спільне використання з радіонавігаційними методами, що дозволить компенсувати недоліки, притаманні як одному, так і іншому методу[1].

1.2.3 Навігаційні системи пошуку та стеження. В даний час системи пошуку автомобілів продовжують розвиватись. У них використовуються новітні досягнення у галузі навігації та інформаційних технологій, можливості та досягнення військово-промислового комплексу.

Структурно схеми автоматичного контролю можна поділити на такі функціональні підсистеми:

- визначення координат об'єкта;
- передача даних;
- обробка та відображення результатів.

Для визначення координат об'єктів у різних системах використовуються такі методи:

- автоматична пеленгація кодованих радіомаяків, встановлених на автомобілях;
- встановлення на автомобілях навігаційних приймачів систем GPS або ГЛОНАСС;
- приймання спеціальною апаратурою, встановленою на автомобілях,

малопотужних сигналів маркерів, що позначають контрольні точки маршруту.

У всіх службах, де впроваджується супутникова навігація, знижуються експлуатаційні витрати, підвищується безпека перевезень вантажів та дисципліна екіпажів. GPS дозволяє мобільним підрозділам оперативних і муніципальних служб стати більш «боездатними» без збільшення кількості транспорту та особового складу за рахунок ефективного використання наявних ресурсів.

Системи супутникової навігації, обладнання яких для споживачів останніми роками значно подешевшало, є основним методом, що застосовується при пошуку та стеженні. У переважній більшості випадків системи контролю над переміщенням рухомих об'єктів використовують приймачі системи «Navstar(GPS)», оскільки найпоширеніші й дешеві.

Для передачі інформації з мобільних об'єктів місцезнаходження може бути використаний цілий ряд методів. Найбільше систем використовує передачі даних радіостанції (звичайні чи транкові), оснащені додатковими модемами. Існують також системи, що використовують стільниковий зв'язок (AMPS в Америці та GSM у Європі) та супутникові канали зв'язку (Inmarsat, Гонець).

Розглянемо типові функції та переваги від використання сучасних систем контролю над транспортом (AVL):

- постійна та достовірна інформація про місцезнаходження кожного з автомобілів у реальному часі із записом протоколу та можливістю подальшого аналізу;
- спрощення роботи диспетчера та зниження його завантаження, що знижує ймовірність прийняття ним помилкового чи невчасного рішення;
- наочне картографічне відображення місцевості з накладенням маркерів, що вказують на положення автотранспорту; тип маркера та його колір можуть відображати як тип машини, так і її стан (вільна, зайнята, справна);

- можливість автоматичного контролю за незапланованими зупинками автотранспорту, а також за виїздом автотранспорту за межі встановленої робочої зони, що може значною мірою сприяти зниженню ризику розкрадань матеріальних засобів або нецільового використання автотранспорту;
- можливість оперативної допомоги водіям, які втратили орієнтацію, у виборі оптимального маршруту;
- можливість автоматизованого пошуку найближчої до заданої точки машини з можливістю диференціації за заданими ознаками, наприклад найближчої вільної машини, найближчої машини з певним обладнанням);
- за наявності датчиків сигналізації та виконавчих пристроїв - своєчасне оповіщення диспетчера про викрадення автотранспорту та можливість його дистанційного блокування (наприклад, дистанційним включенням клапана, що перекриває бензопровід); подальші дії охорони правопорядку можуть бути значно полегшені через наявність точної інформації про місцезнаходження викраденого автомобіля;
- можливість обладнання автомобіля «тривожною кнопкою» та (або) датчиком зіткнення для автоматичної передачі сигналу про надзвичайну ситуацію та координат події;
- можливість ефективної координації дій з вантажоодержувачем та забезпечення своєчасного розвантаження або переадресації вантажу по можливості його прийому на заздалегідь запланованому об'єкті (що особливо важливо при перевезенні вантажів, що швидко псуються, наприклад, бетону високих марок або деяких харчових продуктів);
- зменшення марного пробігу автотранспорту через прорахунки в організації перевезень, пов'язаних з неповною інформацією про реальну обстановку, що є у диспетчера;
- підвищення ефективності використання наявного автотранспорту та персоналу за рахунок більш чіткої організації їх роботи та зниження

потреби у додаткових машинах;

- спрощення контролю за реальним пробігом кожної з одиниць автотранспорту та оцінки реальних витрат під час аналізу економічної ефективності перевезень;
- великий обсяг об'єктивної інформації для аналізу з метою вироблення найбільш раціональних маршрутів, удосконалення системи управління;
- можливість автоматизованого контролю над настанням терміну регламентного обслуговування автотранспорту та більш ефективного планування його використання з урахуванням цієї інформації.

Для вирішення вищезгаданих завдань розроблені та застосовуються на практиці так звані системи стеження за рухом транспортних засобів "AVLS" (Automatic Vehicle Location System) або "APRS" (Automatic Position Reporting System). Робота цих систем будується за таким принципом. В автомобілі встановлюється бортовий комплект апаратури, що складається з GPS-приймача з виносною антеною, блоку керування (контролера), інтерфейсу (модему) та радіоприймача/передавача. GPS-приймач реєструє сигнали супутника і визначає поточне місцезнаходження автомобіля. Контролер відповідно до заданої програми направляє ці дані через інтерфейс (модем) на передавач, який, своєю чергою, посиляє в ефір сигнали. Ці сигнали безпосередньо або через мережу ретрансляторів (репітерів) надходять на приймач, що знаходиться на диспетчерському пульті, а потім - на вхід персонального комп'ютера з спеціальною програмою. Тепер диспетчер може побачити поточне місце розташування конкретного автомобіля на карті, отримати додаткову інформацію зі встановлених на автомобілі датчиків (ввімкнений або вимкнений двигун, чи закриті двері) і, більше того, послати сигнал, що керує встановленими в автомобілі механізмами - наприклад, двигун, що заглушують, закривають замки дверей або включають сирену. Останнє, у поєднанні з прихованою, захищеною від умисного виведення з ладу установкою бортової апаратури - засіб боротьби з викраденням автомобілів. При необхідності водій може натиснути кнопку тривоги - і комп'ютер відразу

повідомить про це диспетчера і покаже на карті місце, звідки подано сигнал.

Якщо система використовує прямий радіоканал виділеної частоти, радіус зони охоплення становить 5-15 км. Якщо використовується транковий канал зв'язку, то робоча область системи збігається із зоною охоплення транкового оператора та становить близько 15 км у радіусі від базової антени.

У Західній Європі, де мережі стандарту GSM 900 і 1800 покривають майже всю територію, більшість розробників AVL - систем використовують саме цей вид зв'язку.

Розрізняють такі базові варіанти побудови таких навігаційних систем:

- мобільний варіант персонального користувача;
- мобільний диспетчерський варіант;
- мобільний автономний варіант.

Мобільний варіант системи для персонального користувача включає «GPS» - приймач з антеною, персональний комп'ютер для відображення поточного розташування об'єкта на електронній карті місцевості та вирішення ряду оперативних завдань (вибір оптимального маршруту, захоплення, проходження заздалегідь заданим маршрутом), що визначаються замовником системи .

Мобільний диспетчерський варіант - модифікація першого варіанта, доповнена можливістю передачі по радіоканалу телеметрії про розташування об'єкта або групи об'єктів на диспетчерський пункт або кілька пунктів через систему цифрових ретрансляторів.

Наявність бортового комп'ютера безпосередньо на рухомому об'єкті не є обов'язковою. Можлива робота кількох об'єктів на одній частоті (оптимальна кількість об'єктів на одному каналі - 10-20) за принципом часового поділу телеметричних даних із різних машин. На диспетчерському пункті відбувається відображення руху об'єкта електронною картою місцевості. При цьому можливе доповнення системи різною сервісною підтримкою: сигнали про сходження з маршруту, зупинку, передача інформації про стан вузлів транспортного засобу (при додаткових датчиках).

Мобільний автономний варіант є компактний пристрій - «чорний ящик». Він встановлюється на автомобілі та фіксує у вбудованій пам'яті маршрут об'єкта протягом усього часу руху. Після проходження маршруту здійснюється зчитування інформації з пристрою та маршрут відображається на електронній карті. З огляду на те, що обсяг пам'яті останньої обмежений, координати розташування заносяться в ОЗУ по спрацювування датчика руху або часового принципу [1,2,3].

GPS-приймачі.

Будь-який приймач GPS може бути віднесений методом прийому сигналів до будь-якого з трьох типів:

- багатоканальному;
- мультиплексний;
- послідовному.

Багатоканальні приймачі мають цілу низку переваг у випадках високих швидкостей рухомого об'єкта або його помітного прискорення, а також при першому визначенні розташування об'єкта.

Найбільш прості моделі GPS-приймачів мають звичайні двох-чотирирядкові матричні індикатори, на яких можуть бути показані цифри та елементарна графіка.

Більш складні пристрої мають графічні дисплеї розміри яких коливаються від малих до середніх. В даний час з'явилися GPS-приймачі з графічним дисплеєм, які дозволяють відображати поточні координати на фрагменті карти місцевості.

Існують також деякі моделі GPS-приймачів, які взагалі не мають власного індикатора і призначені для використання як датчик координат для комп'ютерної системи навігації.

Ряд приймачів має вбудований стандартний інтерфейс для зв'язку із зовнішнім обладнанням та обчислювальними засобами, який використовується у тих випадках, коли приймач працює у складі різних навігаційних комплексів.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СУПУТНИКОВИХ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

2.1 Структура супутникової радіонавігаційної системи

Структура, способи функціонування та необхідні характеристики підсистем СРНС багато в чому залежать від заданої якості навігаційного забезпечення та обраної концепції вимірювань навігації. Для досягнення таких найважливіших якостей, як безперервність і висока точність навігаційних визначень, у глобальній робочій зоні у складі сучасної СРНС типу ГЛОНАСС та GPS функціонують три основні підсистеми:

космічних апаратів (ПКА), що складається з навігаційних ШСЗ (надалі її називаємо мережею навігаційних супутників (НС) або космічний сегмент);

контролю та управління (ПКУ) (наземний командно-вимірювальний комплекс (КВК) або сегмент управління);

апаратура споживачів (АП) СРНС (прийомо-індикатори (ПІ) або сегмент споживачів). Різноманітність видів прийомо-індикаторів СРНС забезпечує потреби наземних, морських, авіаційних та космічних (у межах ближнього космосу) споживачів

Основною операцією, що виконується в СРНС за допомогою цих сегментів, є визначення просторових координат розташування споживачів та часу, тобто просторово-часових координат (ПВК). Цю операцію здійснюють відповідно до концепції незалежної навігації, що передбачає обчислення шуканих навігаційних параметрів безпосередньо в апаратурі споживача. У рамках цієї концепції в СРНС обрано позиційний спосіб визначення розташування споживачів на основі беззапитових (пасивних) далекомірних вимірювань за сигналами кількох навігаційних штучних супутників Землі з відомими координатами.

Вибір концепції незалежної навігації та використання беззапитових вимірів забезпечили можливість досягнення необмеженої пропускної

здатності СРНС. Порівняно із залежною навігацією, що не передбачає процедури обчислень ПВК у ПІ СРНС, відбулося ускладнення апаратури споживачів. Однак сучасні досягнення в галузі технологій уможливили реалізацію таких підходів при вирішенні проблеми навігаційних визначень у СРНС

Висока точність позиціонування споживачів обумовлена багатьма факторами, включаючи взаємне розташування супутників і параметри їх навігаційних сигналів. Структура космічного сегмента забезпечує споживачу постійну видимість необхідного числа супутників

В даний час вважається за доцільне введення до складу СРНС регіональних додаткових систем, що забезпечують реалізацію найсуворіших вимог споживачів. Ці структури дозволяють суттєво підвищити точність обсервацій, виявляти та ідентифікувати порушення в режимах роботи СРНС, неприпустиме погіршення якості її функціонування та своєчасно попереджати про це споживачів, тобто вони можуть здійснювати контроль цілісності системи та підтримувати режим диференціальних вимірювань.

2.1.1. Підсистема космічних апаратів. Підсистема космічних апаратів СРНС складається з певної кількості навігаційних супутників. Основні функції СН - формування та випромінювання радіосигналів, необхідних для навігаційних визначень споживачів СРНС, контролю бортових систем супутника підсистемою контролю та управління СРНС. З цією метою до складу апаратури НР зазвичай включають:

радіотехнічне обладнання (передавачі навігаційних сигналів та телеметричної інформації, приймачі даних та команд від КІК, антени, блоки орієнтації), ЕОМ, бортовий еталон часу та частоти (БЕВЧ), сонячні батареї і т. д. Бортові еталони часу та частоти забезпечують практично синхронне випромінювання навігаційних сигналів усіма супутниками, що необхідно для реалізації режиму пасивних далекомірних вимірювань в апаратурі споживачів

Навігаційні сигнали супутників містять далекомірні компоненти та компоненти службових повідомлень. Перші використовують для визначення в апаратурі споживачів СРНС навігаційних параметрів (дальності, її похідних, ПВК тощо), другі — для передачі споживачам координат супутників, векторів їх швидкостей, часу та ін. Основну частину службових повідомлень супутника підготовлено в наземному командно-вимірювальному комплексі і передана по радіолінії на борт супутника. І лише невелика їх частина формується безпосередньо бортовою апаратурою

Дальномірні компоненти навігаційних сигналів містять дві складові, що відрізняються точністю навігаційних визначень, що забезпечується ними (стандартною і вищою). У апаратурі цивільних споживачів обробляється сигнал стандартної точності. Для використання сигналу високої точності потрібна санкція військових органів.

Вибір складу та конфігурації орбітального угруповання СР може забезпечити задану робочу зону, можливість реалізації різних методів навігаційно-часових визначень (НПО), безперервність і точність НПО, діапазон зміни параметрів радіосигналів СР і т. д. Наприклад, збільшення висоти польоту СР сучасних середньовисотних СРНС до 20 000 км дозволяє приймати сигнали кожного СР на значних територіях (приблизно на половині поверхні Землі). І тоді кілька НС, розташованих на певних орбітах, можуть формувати суцільне, з погляду наземного та авіаційного споживача, радіонавігаційне поле (глобальну робочу зону)

Відповідні характеристики сигналів НС та способи їх обробки дозволяють проводити навігаційні виміри з високою точністю

У сучасних СРНС типу ГЛОНАСС і GPS велика увага приділяється взаємної синхронізації НР за орбітальними координатами та випромінюваними сигналами, що зумовило застосування до них терміну "мережові СРНС".

2.1.2. Наземний командно-вимірювальний комплекс. Підсистема контролю та управління являє собою комплекс наземних засобів (командно-вимірювальний комплекс - КІК), які забезпечують спостереження та контроль за траєкторіями руху НР, якістю функціонування їх апаратури; управління режимами її роботи та параметрами супутникових радіосигналів, складом, об'ємом і дискретністю переданою з супутників навігаційної інформації, стабільністю бортової шкали часу та ін.

Зазвичай КВК складається з координатно-обчислювального центру, (КВЦ), станцій траєкторних вимірювань та управління (СТІ), системного (наземного) еталона часу та частоти (СЕВЧ).

Періодично при польоті СР у зоні видимості СТІ відбувається спостереження за супутником, що дозволяє за допомогою КВЦ визначати та прогнозувати координатну та іншу необхідну інформацію. Потім ці дані вкладають у пам'ять бортової ЕОМ та передають споживачам у службовому повідомленні у вигляді кадрів відповідного формату

Синхронізація різних процесів у СРНС забезпечується за допомогою високостабільного (атомного) системного еталона часу та частоти, який використовується, зокрема, у процесі юстування бортових еталонів часу та частоти навігаційних супутників СРНС.

Навігаційна апаратура споживачів РРНС. Приймачі індикатори СРНС, що складаються з радіоприймача та обчислювача, призначені для прийому та обробки навігаційних сигналів супутників з метою визначення необхідної споживачам інформації (просторово-часових координат, напряму та швидкості, просторової орієнтації тощо)

Просторове становище споживача зазвичай визначається у два етапи: спочатку визначаються поточні координати супутників і первинні навігаційні параметри (дальність, її похідні та інших.) щодо відповідних НР, потім розраховуються вторинні — географічна широта, довгота, висота споживача тощо. д

Порівняння поточних координат споживачів з координатами вибраних навігаційних точок (точок маршруту, реперів тощо) дозволяє сформувати в ПП сигнали керувати різними транспортними засобами. Вектор швидкості споживача обчислюють шляхом обробки результатів вимірювань доплерівських зрушень частоти сигналів СР з урахуванням відомого вектора швидкості супутника. Для знаходження просторової орієнтації споживача в прийомо-індикаторі СРНС здійснюються різниці вимірювання з використанням спеціальних антенних решіток.

2.1.3. Взаємодія підсистем СРНС у процесі визначення поточних координат супутників. Спосіб функціонування сучасних СРНС дозволяє віднести їх до радіомаячних навігаційних засобів. Однак необхідність постійного визначення поточних координат НС і вибору з них видимих споживачеві НС і робочого сузір'я справних НС істотно відрізняє СРНС від традиційних радіомаячних РНС (РСБН, РСДН), в яких координати радіомаяків відомі і постійні. Безперервне знаходження поточних координат НС, що рухаються з великими швидкостями, що змінюються але часу, являє собою складне завдання

Координати НС можуть бути визначені в загальному випадку на КІК або безпосередньо на супутнику (самовизначаються НС). В даний час віддається перевага першому підходу. Це пов'язано з тим, що існують добре апробовані на практиці методи та засоби вирішення цієї проблеми у наземних умовах. У сучасних СРНС управління НС здійснюється з обмежених територій і, отже, не забезпечується постійна взаємодія КІК та мережі НС. У зв'язку з цим виділяють два етапи розв'язання цього завдання. На першому етапі в апаратурі КІК вимірюють координати супутників у процесі їх прольоту в зоні видимості і обчислюють параметри їх орбіт. Ці дані прогнозуються на фіксовані (опорні) моменти часу, наприклад на середину кожного півгодинного інтервалу майбутньої доби, до вироблення наступного прогнозу. Спрогнозовані координати НС та їх похідні (ефемериди) передаються на НС, а потім у вигляді

навігаційного (службового) повідомлення, що відповідає зазначеним моментам часу, споживачам. З другого краю етапі в апаратурі споживача за цими даними здійснюється наступне прогнозування координат НС, тобто., обчислюються поточні координати НР в інтервалах між опорними точками траєкторії. Процедури первинного та вторинного прогнозування координат проводять при відомих закономірностях руху НС

На відміну від НС, розглянутий варіант функціонування СРНС забезпечує спрощення апаратури супутників за рахунок ускладнення структури КІК з метою досягнення заданої надійності

Зауважимо, що в навігаційне повідомлення НС КІК, крім того, закладає альманах — набір довідкових відомостей про всю мережу НС, у тому числі загрублені ефемериди НС, які зазвичай використовуються для визначення видимих споживачеві НС та вибору робочого сузір'я, що забезпечує висока якість НПО. Темп оновлення точної ефемеридної інформації (ЕІ) значно вищий, тому її часто називають оперативною ЕІ на відміну від довготривалої ЕІ в альманасі.

2.1.4. Основні навігаційні характеристики НС. До основних навігаційних характеристик НР відносять зону огляду, зону видимості, тривалість спостереження, орбітальну конфігурацію мережі НР та ін.

Зона огляду НС є ділянкою земної поверхні, на якому можна здійснювати спостереження за НС, прийом його сигналів. Центром зони огляду є підсупутникова точка, що називається географічним місцем супутника (ГМС).

Кутова швидкість прецесії вузла орбіти. Зона огляду обмежена лінією істинного горизонту в точці НС, тому її розмір залежить від висоти НС. Розмір зони огляду характеризується кутом або відповідною йому дугою АТ 3, яка називається радіусом зони огляду [км].

Бортові прийомоіндикатори СРНС забезпечують задану точність вимірювань у зоні огляду, обмеженій радіогоризонтом, який піднятий для користувача на кут $5...10^\circ$ (кут маски).

При збільшенні висоти НС до 40 000 км радіус зони огляду змінюється незначно (9 400 км), а витрати на формування такої орбіти зростають суттєво. Розглянута вище зона огляду відповідає фіксованому моменту часу (миттєва зона огляду). У нестаціонарних НС миттєва зона огляду, переміщаючись поверхнею Землі, утворює зону огляду як смуги шириною. Її віссю є сукупність ГМС – траса НС.

Тривалість сеансу зв'язку з СР (у межах видимості СР) визначається різницею () і залежить від кута b (тобто від висоти польоту СР або періоду його обігу T).

Очевидно, що якщо споживач осторонь траси НС, то тривалість спостереження супутника зменшується.

Навігаційні алгоритми, реалізовані в бортових прийомоіндикаторах сучасних СРНС, зазвичай орієнтовані прийом сигналів від кількох НС одночасно. Спостереження у будь-якій точці робочої зони СРНС одночасно кількох НС забезпечується шляхом оптимального вибору стабільної просторово-часової структури (конфігурації) мережі НС - числа, орієнтації та форми орбіт; числа НР на кожній з них; взаємного розташування орбіт та супутників на них. Зазвичай число НС у мережі перевищує мінімально необхідне за рахунок резервних СР.

Вирішення навігаційної задачі.

Основним змістом навігаційної задачі (НЗ) в СРНС є визначення просторово-часових координат споживача, а також складових його швидкості, тому в результаті вирішення навігаційної задачі повинен бути визначений розширений вектор стану споживача P , який в інерційній системі координат можна уявити як P . Елементами даного вектора служать просторові координати (x, y, z) споживача, тимчасова поправка t шкали часу споживача щодо системної ШВ, а також складові вектора швидкості.

Елементи вектора споживача недоступні безпосередньому виміру за допомогою радіозасобів. У прийнятого радіосигналу можуть вимірюватися ті чи інші параметри, наприклад затримка або доплерівське зміщення частоти. Вимірюваний на користь навігації параметр радіосигналу називають радіонавігаційним (РНП), а відповідний йому геометричний параметр — навігаційним (НП), тому затримка сигналу t та його доплерівське зміщення частоти є радіонавігаційними параметрами, а відповідні їм дальність до об'єкта D і радіальна швидкість служать навігаційними параметрами.

Геометричне місце точок простору з однаковим значенням навігаційного параметра називають поверхнею положення. Перетин двох поверхонь положення визначає лінію положення - геометричне місце точок простору, що мають два певні значення двох навігаційних параметрів. Розташування визначається координатами точки перетину трьох поверхонь положення або двох ліній положення. У ряді випадків (через нелінійність) дві лінії положення можуть перетинатися у двох точках. При цьому однозначно знайти місцезнаходження можна лише використовуючи додаткову поверхню положення або іншу інформацію про місцезнаходження об'єкта

Навігаційні функції для просторових координат споживача можна визначити за допомогою різних різновидів далекомірних, різницево-далекомірних, кутомірних методів та їх комбінацій. Для отримання навігаційних функцій, що включають складові вектора швидкості споживача, використовують радіально-швидкісні методи.

2.2 СРНС ГЛОНАСС

2.2.1 Структура та основні характеристики. Вітчизняна мережева середньоорбітальна СРНС ГЛОНАСС призначена для безперервного і високоточного визначення просторового (тривимірного) розташування вектора швидкості руху, а також часу космічних, авіаційних, морських і

наземних споживачів у будь-якій точці Землі або навколозем. В даний час вона складається з трьох підсистем:

підсистема космічних апаратів (ПКА), що складається з навігаційних супутників ГЛОНАСС на відповідних орбітах;

підсистема контролю та управління (ПКУ), що складається з наземних пунктів контролю та управління;

апаратури споживачів (АП)

Навігаційні визначення ГЛОНАСС здійснюються на основі опитувальних вимірювань в апаратурі споживачів псевдодальності та радіальної псевдошвидкості до чотирьох супутників (або трьох супутників при використанні додаткової інформації) ГЛОНАСС, а також з урахуванням прийнятих навігаційних повідомлень цих супутників. У навігаційних повідомленнях, що передаються за допомогою супутникових радіосигналів, міститься інформація про різні параметри, у тому числі необхідні відомості про положення та рух супутників у відповідні моменти часу. В результаті обробки цих даних в ГЛОНАСС зазвичай визначаються три (дві) координати споживача, величина та напрям вектора його земної (шляхової) швидкості, поточний час (місцевий або в шкалі Держеталону Координованого Всесвітнього Часу UTC (SU) або, інакше, U T C (ГЕВЧ) (ГЕВЧ - Державний стандарт часу і частоти).

2.2.2. Призначення та склад підсистеми контролю та управління. Наземний сегмент системи ГЛОНАСС - підсистема контролю та спрощення (ПКУ), призначена для контролю правильності функціонування управління та інформаційного забезпечення мережі супутників системи ГЛОНАСС, складається з наступних взаємозалежних стаціонарних елементів: центр управління системою ГЛОНАСС (ЦУС); центральний синхронізатор (ЦС); контрольні станції (КС); система контролю фаз (ШКФ); кванто-оптичні станції (КОС); апаратура контролю поля (АКП).

2.2.3. Наземний сегмент виконує такі функції: проведення траєкторних вимірювань для визначення та прогнозування безперервного уточнення параметрів орбіт усіх супутників;

тимчасові вимірювання для визначення розбіжності бортових шкал часу всіх супутників із системною шкалою часу ГЛОНАСС, синхронізації супутникової шкали часу з тимчасовою шкалою центрального синхронізатора та служби єдиного часу шляхом фазування та корекції бортових шкал часу супутників;

формування масиву службової інформації (навігаційних повідомлень), що містить спрогнозовані ефемериди, альманахи та поправки до бортової шкали часу кожного супутника та інші дані, необхідні для формування навігаційних кадрів;

передача (закладка) масиву службової інформації на згадку про ЕОМ кожного супутника та контроль за його проходженням;

контроль за телеметричними каналами за роботою бортових систем супутників та діагностика їхнього стану;

контроль інформації в навігаційних повідомленнях супутника; прийом сигналу виклику ПКУ;

управління польотом супутників та роботою їх бортових систем шляхом видачі на супутники тимчасових програм та команд управління; контроль проходження цих даних; контроль параметрів навігаційного поля;

визначення зсуву фази далекомірного навігаційного сигналу супутника стосовно фази сигналу центрального синхронізатора;

планування роботи всіх технічних засобів ПКУ, автоматизована обробка та передача даних між елементами ПКУ.

В автоматизованому режимі вирішуються практично всі основні завдання управління НС та контролю навігаційного поля.

2.2.4 Центр керування системою. Центр управління системою з'єднаний каналами автоматизованого та неавтоматизованого зв'язку, а також

лініями передачі даних з усіма елементами ПКУ, планує та координує роботу всіх засобів ПКУ на підставі прийнятого для ГЛОНАСС щодобового режиму управління супутниками у рамках технологічного циклу управління. При цьому ЦУС збирає та обробляє дані для прогнозу ефемерид та частотно-часових оправок, здійснює за допомогою так званого балістичного центру розрахунків та аналіз просторових характеристик системи, аналіз балістичної та структури та розрахунків вихідних даних для планування роботи елементів ПКУ.

Інформацію, необхідну для запуску супутників, розрахунку параметрів орбітального руху, управління ними в польоті, ЦУС отримує від системи єдиного часу та еталонних частот, системи визначення параметрів обертання Землі, системи моніторингу геліо- та геофізичної обстановки

Центральний синхронізатор, взаємодіючи з ЦУС, формує шкалу часу ГЛОНАСС, яка використовується для синхронізації процесів та темпів, наприклад, у системі контролю фаз. Він включає до свого складу групу однорідних стандартів.

2.2.5. Контрольні станції. Контрольні станції (станції управління, вимірювання та контролю або наземні вимірювальні пункти) за прийнятою схемою радіоконтролю орбіт здійснюють сеанси траєкторних та тимчасових вимірювань, необхідних для визначення та прогнозування просторового положення супутників та розбіжності їх шкал часу з тимчасовою шкалою ГЛОНАСС, а також збирають про стан бортових систем супутників з їхньою допомогою відбувається закладка в бортові ЕОМ супутників масивів службової інформації (альманах, ефемериди, частотно-часові поправки та ін.), тимчасових програм та оперативних команд для управління новими системами

Траєкторні вимірювання здійснюються за допомогою радіолокаційних станцій, які визначають запитальним способом дальність до супутників та початкову швидкість. Дальномірний канал характеризується максимальною

помилкою близько 2...3 м2. Процес вимірювання дальності до супутника поєднують за часом із процесом закладки масивів службової інформації, тимчасових програм та команд управління, зі зніманням телеметричних даних супутника

Для ефемеридного забезпечення з КС у ЦУС щодобово видається по кожному супутнику по 10...12 наборів (сеансів) виміряних поточних навігаційних параметрів об'ємом приблизно 1 Кбайт кожен.

Така мережа КС забезпечує закладку на супутники системи 1 раз на добу високоточних ефемерид та тимчасових поправок (можливе закладка 2 раз на добу)

У разі виходу з ладу однієї зі станцій можлива її рівноцінна заміна іншою, оскільки мережа КС має достатню надмірність і в найгіршій ситуації роботу системи може забезпечувати ЦУС та одна станція, проте інтенсивність її роботи буде дуже високою.

При плануванні роботи КС на добу визначаються основні та резервні станції для проведення сеансів вимірювань із необхідною надмірністю. Контрольні станції мають потрійне резервування по апаратурі (один комплект робітник, другий - у резерві, третій - профілактичні роботи). Коефіцієнт готовності засобів ПКУ у сеансі вимірювань та закладки інформації на борт супутника близький до одиниці

Описана мережа КС відрізняється від аналогічної структури СРНС GPS тим, що забезпечує високу якість управління орбітальним угрупованням тільки з національної території. КС ГЛОНАСС можуть використовуватись для забезпечення функціонування інших космічних засобів.

2.2.6. Ефемеридне забезпечення. Ефемеридне забезпечення підтримується комплексом технічних та програмних засобів, що виконують радіоконтроль орбіт супутників з кількох наземних КС, обробку результатів траєкторних вимірювань та рас ефемеридної інформації (EI), що передається далі за допомогою завантажувальних станцій на супутник

Висока точність розрахунку ефемерид забезпечується відповідною точністю вимірювальних засобів, внесенням поправок на виявлені методичні траєкторні вимірювання, а також накопичуються за тижневий термін. При цьому далекомірні дані, які отримують від станцій стеження за супутниками, періодично калібруються, що забезпечує високу якість траєкторних вимірювань у системі ГЛОНАСС.

2.2.7. Особливості формування ефемеридної інформації у ГЛОНАСС. Система ГЛОНАСС створювалася в умовах, коли рівень фундаментальних досліджень у галузі геодезії, геодинаміки та геофізики не забезпечував необхідної точності ефемеридного забезпечення системи. У цих умовах було проведено комплекс робіт з обґрунтування шляхів вирішення цієї проблеми через побудову узгоджувальних моделей руху супутників, параметри яких визначають у процесі вирішення самої задачі балістико-навігаційного забезпечення системи.

Дослідження показали, що необхідно відмовитися від типових гостро-резонансних (наприклад, з періодом обігу супутника рівним 12 год, як у СРНС GPS, коли період обертання Землі навколо своєї осі дорівнює двом періодам обігу супутника) орбіт супутників, так як у процесі моделювання рівнянь траєкторного руху супутників це підвищує стійкість їх рішень та послаблює кореляції між параметрами окремих рівнянь (моделюючих, наприклад, зміна геопотенціалу, координат вимірювальних засобів, радіаційного тиску). Крім того, виявилось, що найвища точність балістико-ефемеридного забезпечення системи при вирішенні багатовимірної навігаційної задачі з розширеним вектором стану забезпечується при обробці поточних вимірюваних навігаційних параметрів на інтервалі 8 діб. Перехід від гострорезонансних орбіт був здійснений шляхом „збільшення числа витків супутника (порівняно з GPS) на інтервалі 8 діб до 16...17. Число супутників у системі вибрано рівним 24 з рівномірним розподілом по трьох орбітальних площинах. Усі супутники системи фазуються в такий спосіб, що у великих тимчасових інтервалах вони

мають одне слід поверхні Землі. Це забезпечує високу балістичну стійкість системи та відносно високу точність та простоту розрахунків траєкторій. Досвід експлуатації системи показав, що при забезпеченні початкового періоду звернення супутника з точністю не гірше 0,1 с протягом заданого терміну активного існування супутника його положення в системі не потрібно коригувати

В даний час у системі ГЛОНАСС використовується запитна технологія ефемеридного забезпечення, коли вихідною інформацією для розрахунку ефемерид служать дані вимірюваних поточних параметрів (ІТП) супутників, що надходять до ЦУС від контрольних станцій за програмами міжмашинного обміну через обчислювальну мережу. Щодобово здійснюється 10 ... 12 сеансів передачі інформації по кожному супутнику.

2.3 Система глобального позиціонування GPS

Система глобального позиціонування/GPS, спочатку NAVSTAR GPS, є супутниковою радіонавігаційною системою, що належить уряду Сполучених Штатів, під управлінням ВПС Сполучених Штатів.

Це глобальна навігаційна супутникова система (GNSS), яка надає геолокаційну та інформацію про час GPS-приймачу в будь-якому місці на Землі та поблизу неї, там, де є безперешкодна видимість для чотирьох або більше супутників GPS. Перешкоди, такі як гори та будівлі, блокують відносно слабкі сигнали GPS.

GPS не вимагає від користувача передачі будь-яких даних і працює незалежно від будь-якого телефонного або інтернет-сигналу, ці дані можуть підвищити корисність інформації про розташування GPS. GPS забезпечує критично важливі можливості геолокації для військових, цивільних та комерційних користувачів по всьому світу. Уряд Сполучених Штатів створив та підтримує систему. Вона знаходиться у вільному доступі для всіх, хто має приймач GPS.

2.3.1 Принципи роботи. Концепція GPS заснована на часі та відомому положенні спеціалізованих супутників GPS. На супутнику знаходиться стабільний атомний годинник, який синхронізований один з одним і наземним годинником. Будь-яке відхилення від часу, підтримуваного землі, коригується щодня. Також розташування супутників відоме з високою точністю. У GPS-приймачів також є годинник, але він менш стабільний і точний.

Кожен супутник GPS безперервно передає радіосигнал, що містить поточний час та дані про місцезнаходження. Оскільки швидкість радіохвиль постійна і залежить від швидкості супутника, тимчасова затримка між моментом передачі сигналу супутником і його прийому приймачем пропорційна відстані від супутника до приймача. GPS-приймач контролює кілька супутників і вирішує рівняння для визначення точного положення приймача та його відхилення від справжнього часу. Як мінімум чотири супутники повинні знаходитися в полі зору приймача, щоб він міг обчислити чотири невідомі величини (три координати положення та відхилення годинника від супутникового часу).

Кожен супутник GPS безперервно передає сигнал (хвилю з модуляцією), який включає:

- Псевдовипадкову двійкову послідовність, яка відома одержувачу. При суміщенні часу версії коду, згенерованої приймачем і версії коду, отриманої приймачем, час прибуття (TOA) певної точки в послідовності коду, званої епохою, можна знайти в шкалі часу приймача.
- Повідомлення, яке включає час передачі (TOT) кодової епохи (в масштабі часу GPS) і положення супутника в цей час

Приймач вимірює TOA (за власним годинником) чотирьох супутникових сигналів. Від TOA і TOT приймач формує чотири значення часу польоту (TOF), які (з огляду на швидкість світла) приблизно еквівалентні діапазонам супутника-приймача. Потім приймач обчислює своє тривимірне положення та тактове відхилення від чотирьох TOF. На практиці положення приймача (у тривимірних декартових координатах з початком координат у

центрі Землі) та зсув годинника приймача щодо часу GPS обчислюються одночасно, використовуючи навігаційні рівняння для обробки TOF.

Розташування приймача, центрованого Землю, зазвичай перетворюється на широту, довготу і висоту щодо еліпсоїдної форми Землі. Потім висота може бути додатково перетворена на висоту щодо геоїду, яка є висотою рівня моря. Ці координати можуть відображатися, наприклад, на дисплеї, записуватися або використовуватись якоюсь іншою системою, наприклад, системою навігації транспортного засобу.

2.3.2. Геометрія супутника-користувача. Хоча зазвичай вона формується у процесі отримання сигналу приймачем, тимчасові відмінності прибуття (TDOAs) визначають геометрію виміру. Кожен TDOA відповідає гіперболоїду обертання. Лінія, що з'єднує два задіяні супутники, утворює вісь гіперболоїда. Приймач розташований у точці перетину трьох гіперболоїдів.

Помилково вважається, що користувач перебуває на перетині трьох сфер. Хоч це й простіше візуалізувати, але таке положення має місце лише в тому випадку, якщо у приймача годинник, синхронізований з супутниковим годинником (тобто приймач вимірює справжні діапазони для супутників, а не відмінності в діапазонах). Існують помітні переваги продуктивності для користувача, у якого годинник, синхронізований із супутниками. Насамперед, для обчислення позиції потрібно лише три супутники. Якби важливою частиною концепції GPS було те, що у всіх користувачів синхронізований годинник, можна було б використати меншу кількість супутників, але вартість і складність обладнання користувача зросли б.

Наведений вище опис відноситься до фази запуску приймача. Більшість приймачів мають алгоритм відстеження, його називають трекером, який поєднує набори супутникових вимірів, зібраних у час, використовуючи те що, що послідовні позиції приймача зазвичай близькі друг до друга. Після обробки набору вимірювань трекер прогнозує розташування приймача, що відповідає наступному набору супутникових вимірювань. Коли зібрані нові

вимірювання, приймач використовує схему зважування для об'єднання нових вимірювань з припущенням трекера. Загалом, трекер може (а) покращити точність положення та часу, (б) відхилити погані вимірювання та (в) оцінити швидкість та напрямок приймача.

Недоліком трекера є те, що зміни швидкості або напрямку можна обчислити лише із затримкою. Отриманий напрямок стає неточним, коли відстань, пройдена між двома вимірами положення, зменшується нижче або близько значення випадкової похибки вимірювання положення. GPS-пристрої можуть використовувати вимірювання доплерівського зсуву отриманих сигналів для точного обчислення швидкості. Більш сучасні навігаційні системи використовують додаткові датчики, такі як компас або інерційна навігаційна система для доповнення GPS.

GPS потрібно чотири або більше супутників для точної навігації. Рішення навігаційних рівнянь показує положення приймача поряд з різницею в часі на бортовому годиннику приймача і дійсним часом доби, знімаючи необхідність у більш точних і менш практичних годинниках у приймача. Застосування GPS, наприклад: передача часу, синхронізація сигналу світлофора та синхронізація базових станцій стільникового телефону, використовують цей дешевий та точний час.

Хоча для нормальної роботи потрібно чотири супутники, в окремих випадках досить менше супутників. Якщо одна змінна вже відома, приймач може визначити своє положення, використовуючи лише три супутники. Наприклад: ми знаємо висоту, де знаходиться корабель чи літак. Деякі GPS-приймачі використовують додаткові дані або розрахунки, наприклад: повторне використання останньої відомої висоти, численні координати, інерційна навігація або отримання інформації з комп'ютера транспортного засобу, щоб дати (можливо, не таке точне) положення, коли менше чотирьох супутників у зоні покриття.

2.3.3. Структура GPS. Сьогодні GPS складається з трьох основних сегментів: космічний, управління та користувальницький. ВПС США розвивають, підтримують та експлуатують космічний та контролюючий сегменти. Супутники GPS передають сигнали з космосу, і кожен приймач GPS використовує ці сигнали для обчислення свого тривимірного розташування (широта, довгота та висота) та поточного часу.

Космічний сегмент. Космічний сегмент (SS) складається з 24-32 супутників або космічних апаратів (SV) на середній навколоземній орбіті, а також адаптерів корисного навантаження до прискорювачів, необхідних для запуску на орбіту. Конструкція GPS спочатку вимагала 24 SV, по 8 на 3 приблизно кругових орбітах, але орбітальні поверхні скоротили до 6 з 4 супутниками на кожній. 6 площин орбіти мають нахил приблизно 55° (нахил щодо екватора Землі) і розділені прямим сходженням вузла орбіти на 60° (кут уздовж екватора від точки відліку до перетину орбіти). Орбітальний період становить половину зоряного дня, тобто 11 годин 55, Так що супутники проходять через ті самі місця або майже ті самі щодня. Орбіти розташовані так, що принаймні шість супутників завжди знаходяться в межах прямої видимості на поверхні Землі. В результаті 4 супутники не знаходяться на рівній відстані (90°) один від одного в межах кожної орбіти. У випадку кутова різниця між супутниками кожної орбіти становить 30° , 105° , 120° і 105° друг від друга, що у сумі становить 360° . Обертаючись на висоті приблизно 20 200 км (12 600 миль); орбітальний радіус приблизно 26 600 км (16 500 миль), кожен SV робить два повні витки кожен зоряний день, повторюючи один і той же наземний слід кожного дня. Для військових операцій, повторення наземного сліду можна використовуватиме забезпечення хорошого охоплення у зонах бойових дій.

Станом на лютий 2019 року у складі GPS є 31 супутник, 27 з яких використовуються в даний момент часу, а решта виділено як резервні. 32-й був запусканий у 2018 році. Станом на липень 2019 року його все ще перевіряють. Ще більше списаних супутників знаходяться на орбіті та доступні для

запасних частин. Додаткові супутники покращують точність розрахунків приймача GPS, забезпечуючи надмірні виміри. Зі збільшенням числа супутників, їхнє угруповання було змінено на неоднорідне розташування. Така схема дозволяє підвищити точність, надійність та доступність системи в порівнянні з єдиною системою, коли кілька супутників виходять з ладу. При розширеній кількості 9 супутників зазвичай видно з будь-якої точки землі в будь-який момент часу, забезпечуючи значну надмірність порівняно з мінімальними 4 супутниками, необхідними визначення позиції.

Сегмент управління

Сегмент управління (CS) складається з:

1. центр управління (MCS),
2. альтернативний центр управління,
3. чотири наземні антени, та
4. шість спеціалізованих станцій моніторингу.

MCS може отримати доступ до наземних антен супутникової мережі управління ВПС США (AFSCN) і станцій моніторингу NGA (National Geospatial-Intelligence Agency). Траєкторії польоту супутників відстежують спеціально виділені США Станції моніторингу ВПС на Гаваях, Атолі Кваджалейн, Острові Вознесіння, Дієго-Гарсії, Колорадо-Спрінгс, Колорадо і мисі Канаверал; загальні станції моніторингу NGA працювали в Англії, Аргентині, Еквадорі, Бахреїні, Австралії та Вашингтоні, округ Колумбія. Інформація про відстеження надсилається в космічне командування ВПС MCS на базі ВПС Шрайвер в 25 км (16 милях) від Колорадо-Спрінгс, яка управляється другою ескадрильєю космічних операцій (2 SOPS) ВПС США. Потім 2 SOPS регулярно зв'язуються з кожним супутником GPS для навігаційного оновлення, використовуючи виділені або загальні наземні антени (AFSCN) (GPS-виділені наземні антени розташовані в Кваджалейні, острові Вознесіння, Дієго-Гарсії та мисі Канаверал). Ці оновлення синхронізують атомний годинник на борту супутників з точністю до декількох наносекунд один від одного і коригують ефемериди внутрішньої орбітальної

моделі кожного супутника. Оновлення створюються фільтром Калмана, який використовує вхідні дані від наземних станцій моніторингу, інформацію про космічну погоду та інші.

Маневри супутників не проходять за стандартами GPS - тому для зміни орбіти супутника він відзначається недоступним, наступники його не використовують. Після маневру супутника інженери відстежують нову орбіту із землі, завантажують нові ефемериди і знову відзначають супутник доступним.

Сегмент управління операцією (OCS) управляє записом. Він забезпечує роботу GPS та її доступність користувачам.

OCS успішно замінив застарілий універсальний комп'ютер 1970-х на базі Шрайвера у вересні 2007 року. Після встановлення система включила оновлення та забезпечила основу для нової архітектури безпеки, яку підтримували збройні сили США.

OCS залишиться наземною системою управління записом доти, доки новий сегмент, система управління роботою GPS наступного покоління (OCX), не буде повністю розроблена та функціональна. Нові можливості, що надаються OCX, стануть наріжним каменем для кардинальних змін можливостей GPS, що дозволить космічному командуванню ВПС значно покращити оперативні послуги GPS для бойових сил США, громадянських партнерів та безлічі внутрішніх та міжнародних користувачів. Програма GPS OCX також дозволить знизити вартість, графік та технічний ризик. Вона забезпечить 50% економії витрат за підтримку за рахунок ефективної архітектури програмного забезпечення та логістики на основі продуктивності. Крім того, очікується, що GPS OCX коштуватиме на мільйони менше, ніж вартість оновлення OCS, забезпечуючи при цьому вчетверо більше можливостей. Програма GPS OCX є важливою частиною модернізації GPS і забезпечує значні покращення інформаційної безпеки в порівнянні з поточною програмою GPS OCS.

- ОСХ контролюватиме і управлятиме застарілими супутниками GPS, а також супутниками наступного покоління GPS III, забезпечуючи повний спектр військових сигналів.

- У неї гнучка архітектура, яка може швидко адаптуватися до потреб нинішніх і майбутніх користувачів GPS, забезпечуючи миттєвий доступ до даних GPS, безпечну, точну та надійну інформацію.

- Забезпечує військові сили спеціального призначення більш безпечною, дієвою та корисною для прогнозування інформацією.

- Включає нові модернізовані сигнали (L1C, L2C та L5) та М-код, які недоступні старій системі.

- Забезпечує значні покращення інформаційної безпеки порівняно з поточною програмою, включаючи виявлення та запобігання кібератакам, а також ізоляцію, стримування та функціонування під час таких атак.

- Підтримка великих обсягів команд та можливостей керування в режимі, близькому до реального часу.

14 вересня 2011 року ВПС США оголосили про завершення попереднього розгляду проекту GPS ОСХ та підтвердили, що програма ОСХ готова до наступного етапу розробки.

Програма GPS ОСХ перенесла запуск на 2021, на 5 років пізніше початкового терміну. За даними урядової бухгалтерії, навіть цей новий термін виглядає сумнівним.

Користувальницький сегмент

Користувальницький сегмент (США) складається з сотень тисяч американських та союзних військових користувачів служби безпечного точного позиціонування GPS та десятків мільйонів цивільних, комерційних та наукових користувачів стандартної служби позиціонування. В цілому, приймачі GPS складаються з антени, налаштованої на частоти, що передаються супутниками, приймачів-процесорів та високостабільних годинників (часто кварцового генератора). У них може бути дисплей для надання користувачеві інформації про місцезнаходження та швидкість.

Приймач часто описується кількістю каналів: це означає: скільки супутників може контролювати одночасно. Спочатку обмежена чотирма або п'ятьма, вона поступово збільшувалася протягом багатьох років, тому, починаючи з 2007 року, приймачі зазвичай мають від 12 до 20 каналів.

Приймачі GPS можуть включати вхід для диференціальних поправок, використовуючи формат RTCM SC-104. Зазвичай, це порт RS-232 на швидкості 4,800 bit/s.

Багато GPS-приймачі можуть передавати дані про місцезнаходження на ПК або інший пристрій за допомогою протоколу NMEA 0183. Цей протокол офіційно надано Національною асоціацією морської електроніки (NMEA), посилання на нього вільно представлена у відкритих джерелах, що дозволяє інструментам з відкритим вихідним кодом, таким як `gpsd`, читати протокол без порушення законів про інтелектуальну власність. Існують також інші протоколи, наприклад: SiRF та MTK. Приймачі можуть взаємодіяти з іншими пристроями за допомогою методів, включаючи послідовне з'єднання, USB або Bluetooth. Передача сигналу

Навігаційні сигнали, що передаються супутниками GPS, кодують різну інформацію, включаючи координати супутників, стан внутрішніх годин та стан мережі. Ці сигнали передаються на двох окремих частотах, які є спільними для всіх супутників у мережі. Використовуються два різні кодування: публічне кодування, яке забезпечує навігацію з нижчою роздільною здатністю, та зашифроване кодування, яке використовується військовими США.

2.3.4. Формат повідомлень. Кожен супутник GPS безперервно передає навігаційне повідомлення на частотах L1 (C/A та P/Y) та L2 (P/Y) зі швидкістю 50 біт за секунду. Кожне повне повідомлення займає 750 секунд (12 1/2 хвилини). Структура повідомлення має базовий формат 1500-бітного кадру, що складається з п'яти підкадрів, кожен із яких має довжину 300 біт (6 секунд). Підкадри 4 і 5 субкомутуються 25 разів кожен, тому повне повідомлення

даних вимагає передачі 25 повних кадрів. Кожен підкадр складається з десяти слів, кожне завдовжки 30 біт. Таким чином, при 300 бітах у підкадрі, помноженому на 5 підкадрів у кадрі, помноженому на 25 кадрів у повідомленні, кожне повідомлення має довжину 37500 біт. При швидкості передачі 50 біт/с це дає 750 секунд передачі всього повідомлення. Кожен 30-секундний кадр починається точно за хвилину або півхвилини, як зазначено атомним годинником на кожному супутнику.

Перший підкадр кожного кадру кодує номер тижня та час протягом тижня, а також дані про стан супутника. Другий і третій підкадри містять ефемериду – точну орбіту для супутника. Четвертий і п'ятий підкадри містять альманахи інформації, що містить приблизні дані про орбіту та стан до 32 супутників у системі супутників, а також дані, пов'язані з виправленням помилок. Таким чином, щоб отримати точне розташування супутника з цього переданого повідомлення, приймач повинен демодулювати повідомлення від кожного прийнятого в розрахунки супутника протягом 18-30 секунд. Щоб зібрати всі передані альманахи, одержувач повинен демодулювати повідомлення протягом 732-750 секунд або 12 1/2 хвилин.

Всі супутники ведуть мовлення на одних і тих же частотах, кодуючи сигнали з використанням унікального кодового поділу множинного доступу (CDMA), щоб приймачі могли відрізнити окремі супутники один від одного. Система використовує два різні типи кодування CDMA: грубий код/збір даних (C/A), який доступний широкому загалу, і точний код (P(Y)), який зашифрований так, що тільки військові США та інші країни НАТО, яким було надано доступ до коду шифрування можуть отримати доступ до нього.

Ефемерида оновлюється кожні 2 години та діє протягом 4 годин, із запитом на оновлення кожні 6 годин або довше за інших умов. Альманах оновлюється кожні 24 години. Крім того, дані протягом кількох наступних тижнів завантажуються у разі оновлення передачі, які затримують завантаження даних.

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ВИЗНАЧЕННЯ МІСЦЕПОЛОЖЕННЯ

Доведені до номінального значення орбітальні угруповання GPS та ГЛОНАСС забезпечують у будь-якій точці земної кулі загальну кількість видимих навігаційних супутників. (НС) від 16 до 23. У таких умовах спільна обробка даних від усіх доступних НС недоцільна, оскільки до принципового підвищення точності не призводить, а лише перевантажує обчислювальними операціями процесор приймача. Однак у реальних умовах недостатні за кількістю видимих НС конфігурації можливі в умовах обмеженої видимості, при високому значенні кута маски. Такі умови нерідко виникають у гірській місцевості, але й в умовах міської забудови. У зв'язку з цим науковий та практичний інтерес представляють дослідження точності позиціонування при спільному використанні сигналів систем GPS та ГЛОНАСС у таких конфігурації, коли робота кожної із систем окремо неможлива, наприклад, при наступному наборі: 3 супутники GPS і 2 супутники ГЛОНАСС.

Також цікаві результати визначення координат користувача при доповненні мінімального робочого набору із чотирьох супутників однієї системи декількома з іншої. Можливий виграш у точності визначення координат користувача в такому випадку буде обумовлений зменшенням геометричного фактора погіршення точності, що залежить від кількості використовуваних НС та їх розташування щодо користувача. Для формування та дослідження критичних конфігурацій супутників GPS та ГЛОНАСС використовуємо інтерфейс навігаційної станції, який дозволяє відключати прийом сигналу від будь-якого супутника. З його допомогою складемо штучно обмежене сузір'я і зробимо запис навігаційних даних. Обробку отриманого набору навігаційних даних виконаємо за допомогою комплексу програм спільної обробки даних, що надходять від супутників GPS та ГЛОНАСС. Оскільки системи GPS використовують різні опорні системи WGS-84 та ПЗ-

90.02 відповідно, то при визначенні координат користувача необхідно передбачити перехід до єдиної системи – WGS-84 [1,2].

Програма спільної обробки даних полягає в методі, описаному в [3]. При спільній обробці даних від різних СРНС збільшується кількість невідомих, які мають бути визначені. Зокрема, в довільний час невідома величина розбіжності їх системних шкал часу між собою. У зв'язку з цим, програма, що використовується для обробки даних на алгоритмічному рівні має такі обмеження набори супутників:

- кожна система має бути представлена мінімум двома СН;
- сумарна кількість СН не менше п'яти.

Для поєднань супутників систем GPS та ГЛОНАСС досліджуємо конфігурації: 3+2, 2+3, 3+3, 4+2 та 2+4 НС відповідно. Оцінка точності позиціонування полягатиме в визначенні абсолютної різниці з апріорі відомими координатами розташування антени приймача Для кожного рішення визначимо різницю по відповідній координатній осі Δx , Δy , Δz та сумарну просторову помилку визначення координат:

$$\Delta R = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}. \quad (3.1)$$

Таким чином, в результаті обробки тривалого запису вимірювань до супутників заданої конфігурації будуть сформовані масиви помилок, які можуть бути представлені у вигляді часових графіків. Ці дані будуть піддані статистичній обробці, що полягає у визначенні максимальних і мінімальних значень отриманої вибірки, обчисленні математичного очікування, дисперсії та середньоквадратичного відхилення (СКВ). Графічні результати дослідження та результати статистичної обробки доповнимо зображенням досліджуваної конфігурації, отриманим з робочого вікна навігаційного інтерфейсу приймача в момент запису.

Конфігурація 3GPS+2ГЛОНАСС

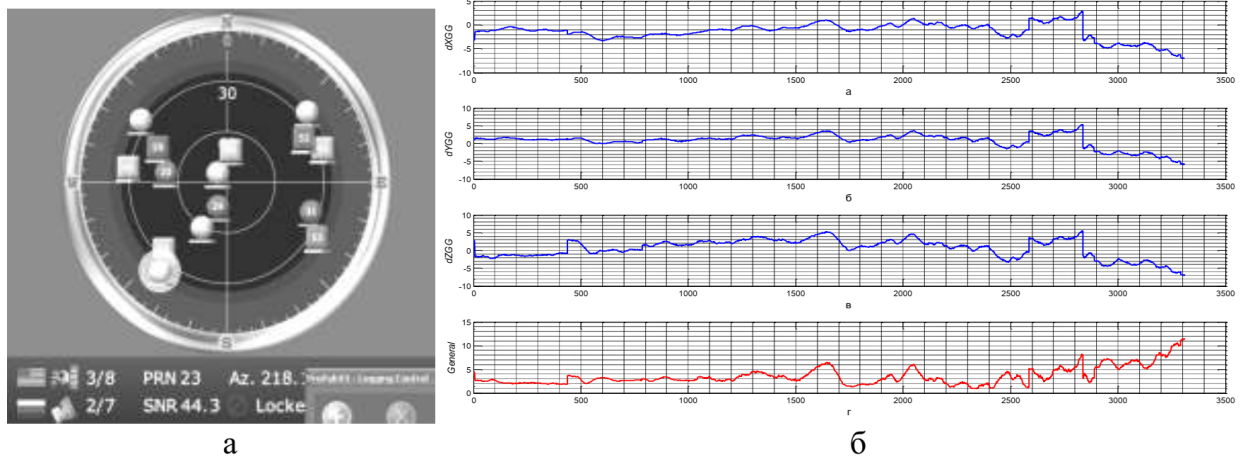


Рисунок 3.1 - Сформована конфігурація 3GPS+2ГЛОНАСС (а) та точність позиціонування (б)

Таблиця 3.1 – Параметри системи 3GPS+2ГЛОНАСС

Параметр	Точність по відповідній вісі			
	Δx	Δy	Δz	R
Об'єм вибірки	3310	3310	3310	3310
Макс. значення, м	2,767	5,356	5,489	11,460
Мін. значення, м	-7,004	-5,356	-6.938	0.939
Мат. очікування, м	-1.366	0.822	0.590	3.574
Дисперсія, м	2.955	3.652	6.719	3.437
СКВ, м	1.719	1.911	2.592	1.854

Конфігурація 2GPS+3ГЛОНАСС

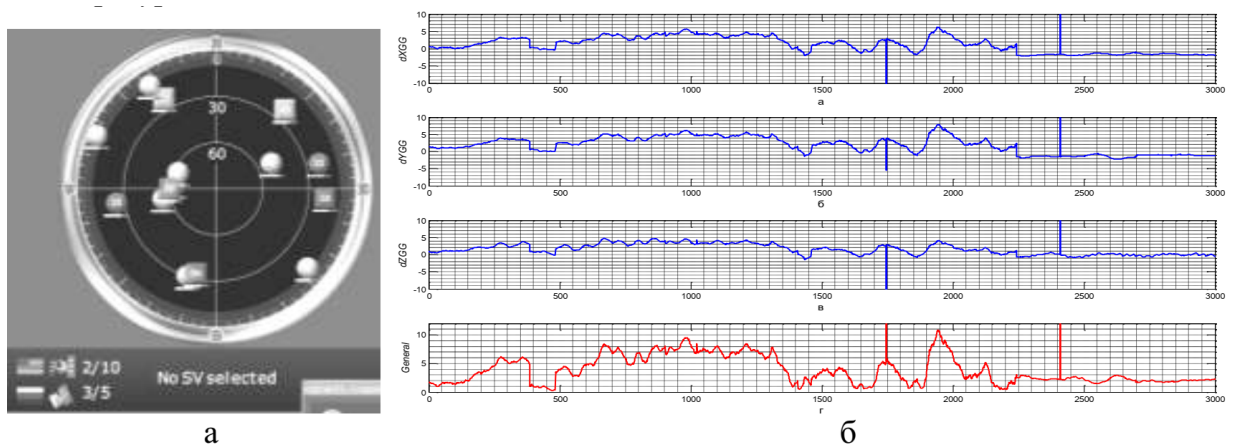
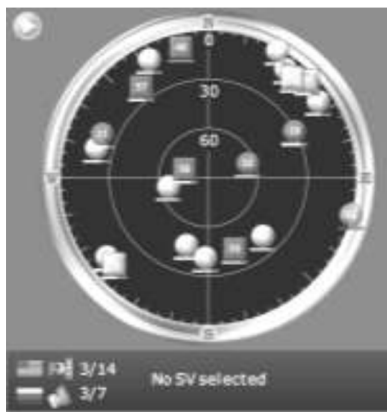


Рисунок 3.2 - Сформована конфігурація 2GPS+3ГЛОНАСС (а) та точність позиціонування (б)

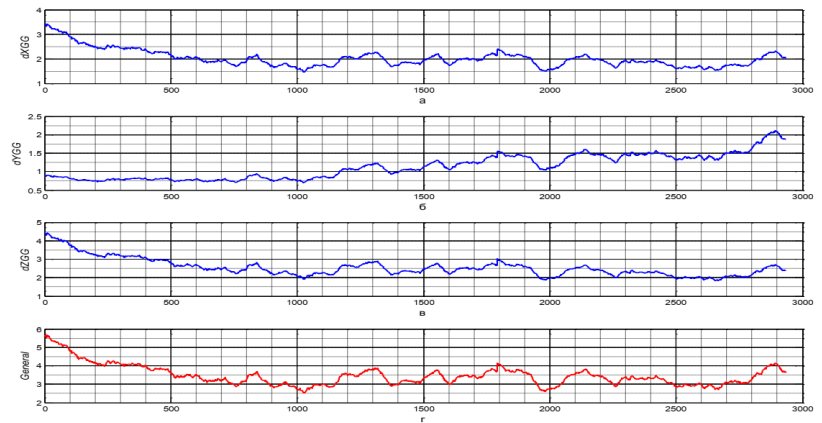
Таблиця 3.2 – Параметри системи 2GPS+3ГЛОНАСС

Параметр	Точність по відповідній вісі			
	Δx	Δy	Δz	R
Об'єм вибірки	3185	3185	3185	3185
Макс. значення, м	34.01	24.83	54.61	90.08
Мін. значення, м	-10.40	-5.48	-13.46	0.28
Мат. очікування, м	1.073	1.687	1.541	3.802
Дисперсія, м	4.836	4.627	6.923	14.309
СКВ, м	3.292	2.762	3.596	4.828

Конфігурація 3GPS+3ГЛОНАСС



а



б

Рисунок 3.3 - Сформована конфігурація 3GPS+3ГЛОНАСС (а) та точність позиціонування (б)

Таблиця 3.3– Параметри системи 3GPS+3ГЛОНАСС

Параметр	Точність по відповідній вісі			
	Δx	Δy	Δz	R
Об'єм вибірки	2934	2934	2934	2934
Макс. значення, м	3.422	2.110	4.422	5.664
Мін. значення, м	1.478	0.704	1.834	2.527
Мат. очікування, м	2.017	1.134	2.542	3.460
Дисперсія, м	0.120	0.108	0.227	0.298
СКВ, м	0.347	0.329	0.477	0.546

Конфігурація 4GPS+2ГЛОНАСС.

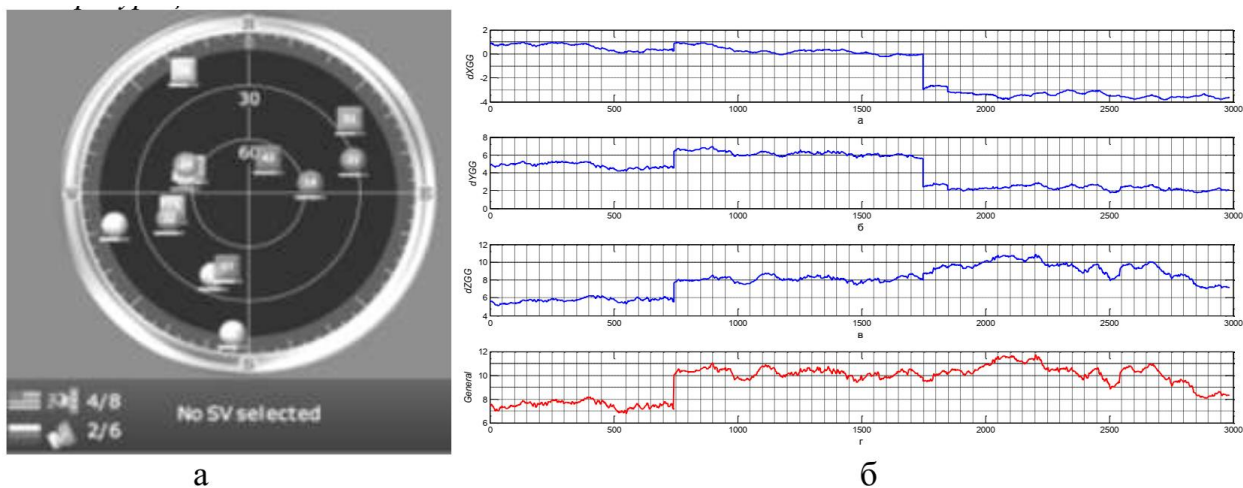


Рисунок 3.4 - Сформована конфігурація 4GPS+2ГЛОНАСС (а) та точність позиціонування (б)

Таблиця 3.4– Параметри системи 4GPS+2ГЛОНАСС

Параметр	Точність по відповідній вісі			
	Δx	Δy	Δz	R
Об'єм вибірки	2985	2985	2985	2985
Макс. значення, м	0.969	6.953	10.842	11.694
Мін. значення, м	-3.823	1.767	5.120	6.800
Мат. очікування, м	-1.170	4.239	7.990	9.507
Дисперсія, м	3.594	2.982	2.367	1.705
СКВ, м	1.896	1.727	1.538	1.306

Конфігурація 2GPS+4ГЛОНАСС.

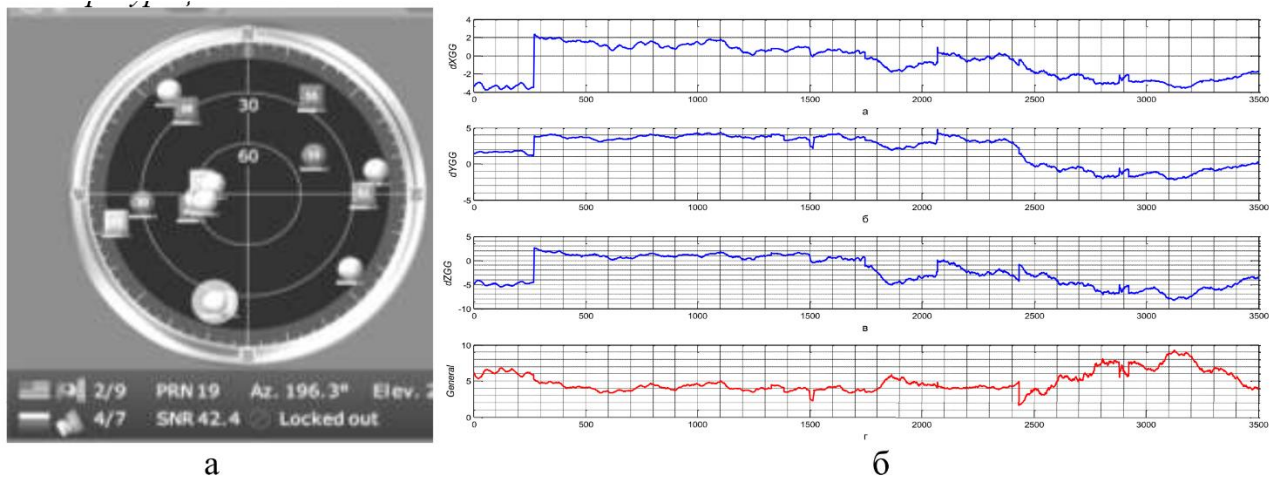


Рисунок 3.5 - Сформована конфігурація 2GPS+4ГЛОНАСС (а) та точність позиціонування (б)

Таблиця 3.5– Параметри системи 2GPS+4ГЛОНАСС

Параметр	Точність по відповідній вісі			
	Δx	Δy	Δz	R
Об'єм вибірки	3566	3566	3566	3566
Макс. значення, м	2.308	4.771	2.614	9.264
Мін. значення, м	-3.793	-2.221	-8.287	1.709
Мат. очікування, м	-0.734	1.973	-2.207	4.899
Дисперсія, м	3.137	4.392	9.099	1.920
СКВ, м	1.771	2.096	3.016	1.386

Отримані результати дослідження точності позиціонування при роботі з мінімально можливими конфігураціями супутників об'єднаного сузір'я GPS і ГЛОНАСС підтверджують головну перевагу методу, що використовується - це можливість надання користувачеві оцінки координат в умовах, коли приймач, орієнтований на роботу тільки з системою GPS або тільки системою ГЛОНАСС, користувача.

Це відбувається через брак джерел навігаційної інформації. У методі, що використовується, необхідними додатковими джерелами виступають НС

іншої системи. Точність розв'язання навігаційного завдання при такому підході була досліджена на конфігураціях:

- 3 супутники GPS + 2 супутники ГЛОНАСС (рисунок 3.1),
- 2 GPS+3ГЛОНАСС (рисунок 3.2),
- 3GPS+3ГЛОНАСС (рисунок 3.3),
- 4GPS+2ГЛОНАСС (рисунок 3.4)
- 2GPS+4ГЛОНАСС (рисунок 3.5).

Результати статистичної обробки вибірок помилки визначення місцезнаходження приймача щодо відомих координат розташування приймача наведено у таблицях 3.1 – 3.5.

Аналіз отриманих результатів показує, що середнє відхилення оцінки координат по кожній координатній осі вбирається у 8 м. Для середнього значення сумарної просторової помилки отримано рівень відхилення до 10 м. Середнє значення СКО становило 1.5 м, що дозволяє стверджувати у тому, що з ймовірністю 95% відхилення у визначенні розташування не перевищувало значення 3 м., а 99% - 3,7 м. Максимальне значення СКО лише на рівні 4,8 м мало місце зміни 2GPS+3ГЛОНАСС (рисунок 2.2). Таким чином, в даних умовах з ймовірністю 95% відхилення у визначенні розташування не перевищувало значення 9,5 м., а в 99% - 11,9 м.

Додатково досліджений коефіцієнт асиметрії при аналізі отриманих вибірок вказав на нормальний закон розподілу похибки з гострішою вершиною. При дослідженні конфігурації 2GPS+3ГЛОНАСС (рисунок 2.2) двічі спостерігалися нетривалі різкі стрибки похибки одночасно з усіма координатами. Вони з'явилися причиною максимального стрибка просторової похибки в цьому експерименті до рівня 90 м. В інших випадках піки похибок, що спостерігаються, не перевищували значення 10 м. Програмне забезпечення навігаційних приймачів подібні прояви можуть бути виключені застосуванням алгоритмів згладжування координат, що видаються.

Досліджені результати отримані в умовах роботи з обмеженою кількістю видимих супутників для інтервалів запису порядку 3000 с. Тим не менш,

рівень точності, що забезпечується програмним продуктом, задовольняє вимогам більшості практичних застосувань і не виходить за межі, встановлені розробниками систем GPS та ГЛОНАСС. В цілому результат дослідження точності обчислення позиції при роботі з мінімально можливими конфігураціями супутників об'єднаного сузір'я GPS і ГЛОНАСС підтверджує правильність алгоритмів спільної обробки, що використовуються, і свідчить про можливість використання реалізації його програми в умовах значного обмеження видимості небесної півсфери.

ВИСНОВКИ

Таким чином, в магістерській роботі було зроблено наступне.

1. Проведено огляд та аналіз систем автоматичного позиціонування. Проведено аналіз класифікації та характеристик систем автоматичного позиціонування, методів позиціонування.
2. Проведено аналіз сучасних систем супутникового позиціонування GPS і ГЛОНАСС, їх принцип дії, переваги та недоліки, особливості застосування.
3. Проведено дослідження можливостей сумісного використання двох супутникових систем позиціонування.

Аналіз отриманих при дослідженні результатів показує, що середнє відхилення оцінки координат по кожній координатній осі вбирається у 8 м. Для середнього значення сумарної просторової помилки отримано рівень відхилення до 10 м. Середнє значення СКО становило 1.5 м, що дозволяє стверджувати у тому, що з ймовірністю 95% відхилення у визначенні розташування не перевищувало значення 3 м., а 99% - 3,7 м. Максимальне значення СКО лише на рівні 4,8 м мало місце зміни 2GPS+3ГЛОНАСС. Таким чином, в даних умовах з ймовірністю 95% відхилення у визначенні розташування не перевищувало значення 9,5 м., а в 99% - 11,9 м.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Іванов І.П., Коваль М.О., Тарасов В.В. "Автомобільні охоронні системи: основи та технології" / І.П. Іванов, М.О. Коваль, В.В. Тарасов. – 1-е вид. – Київ: Вид. центр "Наука", 2019. – 288 с.
2. <https://avlzalazone.com/>
3. <https://www.inmarsat.com/en/index.html>
4. <https://www.omnitracs.com/>
5. <http://www.manytransport.ru/maors-419-2.html>
6. <https://iridium.com/>
7. <https://www.orbcomm.com/>
8. <https://www.space.com/19794-navstar.html>
9. <https://gps-monitoring.com.ua/>
10. Петров А.В., Литвиненко І.С. "Сучасні технології автомобільної безпеки" / А.В. Петров, І.С. Литвиненко. – 1-е вид. – Львів: Видавництво "Світ", 2020. – 320 с.
11. Мироненко А.П., Лазаренко В.М. "Автомобільні охоронні системи: від теорії до практики" / А.П. Мироненко, В.М. Лазаренко. – 1-е вид. – Харків: Видавництво "Ранок", 2020. – 350 с.
12. Шевченко В.О., Пономаренко Ю.М. "Впровадження автомобільних охоронних систем" / В.О. Шевченко, Ю.М. Пономаренко. – 1-е вид. – Одеса: Вид. центр ОНУ, 2018. – 270 с.
13. Іванов О.П., Ковальчук М.О., Тарасенко В.В. "Система геодезичних параметрів Землі: методи та застосування" / О.П. Іванов, М.О. Ковальчук, В.В. Тарасенко. – 1-е вид. – Київ: Вид. центр "Наука", 2019. – 288 с.
14. О. С. Погурельський. Дослідження ефективності навігаційних визначень при використанні систем GPS та ГЛОНАСС / О.С. Погурельський, В.В. Конін. // Матеріали ІХ Міжнародної науково-технічної конференції «Авіа-2009» - Т. 1. Київ. 2009. Є. 725 - 728.