

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Перелік практичних занять.....	6
Практичне заняття № 1 Координатно-часове забезпечення супутникового позиціонування	6
Практичне заняття № 2 Способи визначення координат пунктів.....	9
Практичне заняття № 3 Застосування технологій супутникових радіонавігаційних систем. Системи моніторингу рухомих об'єктів. Застосування супутникової навігації на автомобільному транспорті	14
Практичне заняття № 4 Супутникова навігаційна система Галілео	17
Практичне заняття № 5 Супутникова навігаційна система GPS.....	18
Практичне заняття № 6 Супутникова навігаційна система ГЛОНАСС.....	20
2 Критерії оцінювання знань студентів	23
Список літератури	24

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Глобальні супутникові системи навігації» покликана надати систему загальнокультурних і професійних компетенцій у галузі глобальних і локальних супутникових систем навігації: систем GPS, GALILEO, ГЛОНАСС, принципів їх орбітальної побудови та функціонування, їх практичного застосування для систем навігаційного позиціонування, сучасної електронної апаратури і технологій її використання під час автомобільних перевезень.

Основна мета вивчення навчальної дисципліни «Глобальні супутникові системи навігації» – надати теоретичні та практичні знання щодо застосування для автомобільних перевезень технологій глобальних супутникових систем навігації.

Автомобільний транспорт для більшості країн світу є основним видом внутрішнього транспорту, який забезпечує комерційні вантажоперевезення та пасажирські перевезення. В Україні за останні роки спостерігається зростання інтересу до автотранспортних перевезень, що значною мірою впливає на розвиток і функціонування економіки та соціальної інфраструктури країни. З огляду на це, збільшується необхідність ефективного управління транспортом, для надання споживачам якісних транспортних послуг, знаходження нових ринкових ніш, зменшення витрат на перевезення товарів і пасажирів, гарантування безпеки на всіх видах автотранспортних засобів.

Збільшення кількості перевезень, як вантажних, так і пасажирських, вимагає в режимі реального часу детального моніторингу та контролю за переміщенням автотранспорту. Ефективність роботи автотранспортних підприємств (АТП) значною мірою залежить від своєчасності, повноти, точності та достовірності інформації, отриманої від транспортних засобів, які знаходяться на маршруті.

Для перевірки рівня засвоєння теоретичного матеріалу та практичних навичок подаються контрольні питання.

Мета практичних занять – отримання практичних навичок щодо застосування для автомобільних перевезень технологій глобальних супутникових систем навігації.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен

знати:

- принципи побудови та функціонування супутникових систем;
- системи координат і часу, що використовуються в сучасних і перспективних супутникових системах;
- способи визначення координат супутниковими методами (абсолютний і диференційний);
- принципи кодових і фазових вимірювань, склад і структуру навігаційного повідомлення;
- принципи побудови та функціонування багатосистемної супутникової апаратури;

уміти:

- використовувати методики застосування супутникової апаратури і технологій позиціонування для розв’язання завдань навігації під час автомобільних перевезень і способи обробки результатів;
- володіти методами використання глобальних супутникових систем навігації для розв’язання задач координатного забезпечення просторового позиціонування.

Текст звіту до практичної роботи (розрахунково-пояснювальної записки) має бути коротким, з точними формулюваннями, обов’язковими посиланнями на літературні джерела, поданням розрахункових схем, формул і довідкових даних.

Усі записи розташовують на одному боці аркуша, щоб поруч можна було внести доповнення чи виправлення після рецензування роботи. Прийняті рішення мають бути обґрунтовані.

1 ПЕРЕЛІК ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Практичне заняття № 1

Тема. Координатно-часове забезпечення супутникового позиціонування

Мета роботи: набуття практичних навичок застосування понятійного апарату і термінології супутникового позиціонування, зокрема щодо автомобільних перевезень.

Короткі теоретичні відомості

Під позиціонуванням розуміється визначення за допомогою супутникових систем місцезнаходження спостерігача або об'єкта в тривимірному земному просторі.

Переваги супутникових систем позиціонування: глобальність, оперативність, усепогодність, оптимальна точність і ефективність. Для вимірювань не потрібна видимість між обумовленими пунктами.

До сфер застосування супутникового позиціонування належать навігація всіх видів, диспетчерські служби, моніторинг природних і техногенних об'єктів; кадастрові та землепорядні роботи та інші.

Друге покоління систем супутникового позиціонування – GPS (США) і ГЛОНАСС (Росія).

GPS (Global Positioning System), паралельна назва NAVSTAR (NAVigation Satellite Timing and Ranging): запуск першого блоку супутників розпочато 1978 р., експлуатаційна готовність оголошена 1995 р.

ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система): розробки розпочаті в середині 1970-х рр., перші супутники виведені на орбіту 1982 р., 1993 р. офіційно прийнята в експлуатацію, 1995 р. відкрита для цивільного використання, 1996 р. розгорнута повністю.

Існують пристрої, що використовують обидві системи.

Навігаційні супутникові системи призначені для визначення місця розташування, швидкості руху, а також точного часу морських, повітряних, сухопутних та інших видів споживачів. NAVSTAR і ГЛОНАСС – системи подвійного призначення, спочатку розроблені на замовлення і під контролем військових для потреб Міністерств оборони і тому перше, і основне призначення у систем стратегічне, друге призначення зазначених систем цивільне. З урахуванням цього, всі робочі нині супутники передають два види сигналів: стандартної точності для цивільних користувачів і високої точності для військових користувачів (цей сигнал закодований і доступний тільки з наданням відповідного рівня доступу від Міністерства оборони). Навігаційні системи є незалежними (повністю автономними) і беззапитним (призначена для користувача апаратура тільки приймає сигнал, не посилюючи запит на супутник).

В інших країнах також ведуться розробки: Галілео (Європейське співтовариство), COMPASS (Китай), IRNS (Indian Regional Navigation System) (Індія).

Підсистеми супутникових систем. Виділяють три сегменти: наземного контролю і управління, сузір'я супутників, апаратури користувачів.

Сегмент сузір'їв супутників і в GPS, і в ГЛОНАСС повинен складатися з 24 супутників. GPS має 28 супутників на чотирьох орбітах з нахилом 55° і висотою 20180 км. У ГЛОНАСС поки тільки 18 супутників на трьох орбітах з нахилом $64,8^\circ$ і висотою 19100 км. Кожен супутник має по 4 атомних еталони частоти і часу, апаратуру для приймання і передавання радіосигналів.

Супутники поділено на групи, вони обертаються у своїх орбітальних площинах на незмінній середньовисотній орбіті, на постійній відстані від поверхні Землі. Для отримання сигналу в будь-який час, у будь-якій точці земної кулі потрібно 24 супутники (якщо розділити умовно, то по 12 супутників на кожну півкулю). Орбіти цих супутників утворюють «сітку» над поверхнею землі, завдяки чому над горизонтом завжди гарантовано знаходяться мінімум чотири супутники, а сузір'я побудовано так, що, зазвичай, одночасно є не менше

шести. Повністю розгорнута супутникова система має також резервні супутники, по одному в кожній площині, для «гарячої» заміни (у разі виходу основного супутника з ладу вони можуть бути оперативно введені замість несправного). Резервні супутники також беруть участь у роботі системи, покращуючи точність позиціонування і забезпечуючи достатню надмірність.

Сегмент наземного контролю і управління складається зі станцій спостереження за супутниками, служби точного часу, головної станції з обчислювальним центром і станцій завантаження даних на борт супутників.

Супутники GPS проходять над контрольними пунктами двічі на добу. Головна станція – база ВПС у Колорадо-Спрінгс (Каліфорнія). Точний час – обсерваторія у Вашингтоні. У ГЛОНАСС Центр управління системою під Москвою (Краснознаменськ).

До завдань цієї підсистеми належать контроль правильності функціонування супутників, безперервне уточнення параметрів орбіт і видача на супутники тимчасових програм, команд управління і навігаційної інформації. Під час прольоту супутника в зоні видимості станції вимірювання, управління і контролю, вона здійснює спостереження за супутником, приймає навігаційні сигнали, здійснює первинну обробку даних і обмін даними з центром управління системою. На головній станції відбувається обробка і обчислення всіх даних від мережі управління, їх математична обробка та обчислення координатних і коригувальних даних, що підлягають завантаженню в бортовий комп'ютер супутника.

Сегмент апаратури користувачів різний, залежно від призначення, загалом складається з навігаційних приймачів і пристроїв обробки, призначених для приймання навігаційних сигналів супутників і обчислення власних координат, швидкості і часу. У найпростішому випадку це – мініатюрний приймач із джерелом живлення. Комплект апаратури для геодезичних визначень містить антену, приймач, контролер (пристрій керування), блок живлення, кабелі, штативи, тичку для установки антени,

пристосування для вимірювання висоти антени та ін., еталони частоти і часу, апаратуру для приймання і передавання радіосигналів.

Контрольні питання

1. Розшифрувати терміни ГЛОНАСС, GPS.
2. Надати характеристику систем координат WGS-84, СК-42, СК-95.
3. Надати характеристику систем часу UTC і LOCAL TIME.
4. У чому полягає принцип визначення координат пунктів за допомогою супутникових систем GPS, ГЛОНАСС?
5. Що таке абсолютний метод визначення координат? Яка точність цього методу? Які джерела помилок в абсолютному методі?
6. Що таке шляхові точки? Методи створення шляхових точок.
7. Що таке трек і маршрут?
8. У чому полягає принципова відмінність геодезичного пункту, створеного традиційними геодезичними методами, від пункту, призначеного для супутникових спостережень?

Література: [1, 2, 4, 6].

Практичне заняття № 2

Тема. Способи визначення координат пунктів

Мета роботи: практичне ознайомлення зі способами визначення координат пунктів при автомобільних перевезеннях.

Короткі теоретичні відомості

Геоінформатика розробляє принципи, методи і технології збирання, накопичення, передавання, обробки та подання даних для отримання на їх підставі нової інформації і знань про просторово-часові явища в геосистемах. Дані – зареєстровані факти, описи явищ реального світу або ідей. Інформація – одна з властивостей предметів, явищ, процесів, що передає зміст, укладений людиною в дані. Знання – відображення семантичних аспектів реального світу

в мозку людини або системах штучного інтелекту, інтерпретація інформації про навколишні об'єкти або явища.

Просторові дані поділяються на позиційні та атрибутивні. Перші характеризують стан об'єкта в дво- або тримірному просторі, другі надають якісні або кількісні тематичні характеристики об'єкта.

Геоінформаційна система (ГІС) – інформаційна система, що забезпечує збирання, зберігання, обробку, доступ, відображення та розповсюдження просторово-координованих даних. ГІС (ГІС-пакет) – програмний продукт, у якому реалізовані функціональні можливості ГІС. Він підтримується програмним, апаратним, інформаційним, нормативно-правовим, кадровим та організаційним забезпеченням.

Принцип визначення координат заснований на обчисленні відстаней від точки до декількох супутників системи глобального позиціонування. Відстані визначаються за часом, що пройшов від посилення електромагнітного сигналу із супутника до надходження його в приймач. Обчисливши відстань від супутника № 1 до приймача, уявімо сферу, де центром буде супутник № 1. Обчисливши відстань від приймача до супутника № 2, уявімо собі другу сферу, де центром буде супутник № 2. Ділянка, де ці дві сфери перетнуться, і є ділянкою нашого передбачуваного місцезнаходження. Для отримання точніших даних нам знадобиться інформація про відстань до супутника № 3 і одна з двох точок. Місце перетину трьох передбачуваних сфер і є місцем нашого позиціонування. Для усунення неправильного рішення і одночасного уточнення місця позиціонування потрібний четвертий супутник.

Завдання обчислення свого місця розташування користувачем є досить складним, оскільки для обчислення власних координат на місцевості необхідно обчислити координати декількох супутників, тобто знати їх точне місце розташування щодо приймальної апаратури. Супутники постійно рухаються, відповідно координати постійно змінюються. Для оперативного обчислення і зменшення обчислювальної потужності розмірів і вартості користувальницької апаратури, обчислення максимально можливого обсягу даних було покладено

на наземний комплекс управління, у якому за результатами спостережень за супутниками обчислюється прогноз параметрів орбіти в фіксовані (опорні) моменти часу і під час сеансів зв'язку передається на супутник. Знаючи передбачувані параметри орбіти і точні координати супутника в опорній точці, можна обчислити координати супутника в будь-який момент часу.

Спрогнозовані параметри орбіти і їх похідні називаються ефемеридами. Набір відомостей, що застосовуються для пошуку видимих супутників і вибору оптимального сузір'я і містять відомості про поточний стан навігаційної системи в цілому, включаючи ефемериди, називаються альманахом. Передавачі, що знаходяться на супутнику, у безперервному режимі на високій частоті передають навігаційні повідомлення, що містять ефемериди з мітками часу і альманахом. Призначена для користувача апаратура, приймаючи таке навігаційне повідомлення і спираючись на закладений у пам'яті попередній альманах, максимально швидко і точно визначає власні координати, за необхідності виводячи їх на засоби відображення інформації.

Існує 2 способи визначення відстаней: кодовий і фазовий.

Джерела похибок у визначенні відстаней пов'язані з впливом іоносфери, нижніх шарів атмосфери, ефектом багатопроменевості, несинхронної генерації сигналів на супутнику і в приймачі, перешкодами на шляху сигналу.

Вплив іоносфери. На висотах від 50 до 1000 км над Землею містяться вільні електрони та іони. Взаємодія електромагнітної хвилі і частинок іоносфери при проходженні радіосигналу породжує вимушене коливальний рух заряджених частинок. Це призводить до зміни швидкості і напрямку поширення електромагнітної хвилі. Мінімізують вплив за рахунок використання хвиль різної довжини.

Вплив нижніх шарів атмосфери. Швидкість світла постійна тільки в вакуумі, в атмосфері вона змінюється залежно від коефіцієнта заломлення середовища, який залежить від метеопараметрів і від напрямку, по якому проходить сигнал від супутника (від висоти супутника над горизонтом). Чим нижче супутник, тим сильніше вплив атмосфери, тому за кутів $10\text{--}15^\circ$ похибка

досягає 10 м, такі спостереження відкидають. Для вимірювань уводять поправку за моделлю стандартної атмосфери.

Несинхронність генерації сигналів на супутнику і в приймачі. Синхронізація годинника приймача проводиться в процесі ініціалізації приймача. Розрізняють три види ініціалізації: «холодний старт», «теплий» і «гарячий».

Якщо приймач включається вперше або після тривалого часу бездіяльності, дані про його місцезнаходження, які зберігаються у внутрішній пам'яті, не збігаються з актуальними. Тоді для початку виконується пошук супутником, отримання даних про стан і ефемерид. Потім визначають відстані до декількох супутників, розраховують помилку визначення місцезнаходження і синхронізують години. Це «холодний старт», який триває кілька хвилин.

«Теплий» старт: час перебування приймача у вимкненому стані не перевищує певного терміну і альманах ефемерид не встиг застаріти, відразу вимірюють відстані та синхронізують години.

«Гарячий» старт: повторне включення протягом доби, годинник уже синхронізований, альманах свіжий, відразу – позиціонування (декілька секунд).

Ефект багатопроменевості виникає унаслідок відображення сигналу від земної поверхні та навколишніх предметів. Похибка може досягати 10 м при кодових вимірюваннях. Для захисту від впливу відбитих сигналів у приймачі реалізований алгоритм порівняння декількох сигналів, що приходять від одного супутника, і відсіву найбільш слабких (багатоканальність).

Перешкоди на шляху сигналу – великі предмети, будівлі та споруди нездоланні для супутникового сигналу. Простір ефективного приймання значно зменшується в містах, лісі, горах. Фазовий спосіб більш чутливий, ніж кодовий. Роботі можуть перешкодити потужні радіолокаційні та телевізійні станції, якщо вони розташовані в радіусі 500 м. Усунути труднощі можна, вибирають оптимальне місце спостереження.

Способи позиціонування. Точність визначення координат за допомогою глобальних систем позиціонування в геодезії: мм у плані і см за висотою. Точність залежить від способу позиціонування.

Існує два способи: автономний, диференційний.

Два методи обробки даних диференціального способу: режим реального часу, постобробка.

Типи приймачів. Усі приймачі поділяються на одно- і двосистемні (що приймають сигнали тільки від системи GPS і від GPS і ГЛОНАСС), кодові та кодово-фазові, одно- і двочастотні.

Просторовий геометричний фактор надає оцінку точності визначення місцезнаходження – pDOP (Dilution of Precision). p – position, h – horizontal, v – vertical.

Чим менше значення pDOP, тим точніше визначення координат:

- pDOP <3 – точність хороша;
- pDOP <6 – точність задовільна;
- pDOP > 6 – точність незадовільна.

Завдання, які розв'язуються:

- Орієнтування. Використовуються портативні кодові приймачі, які беруть C / A-код на частоті L1 і P-код на частоті L1 і L2. Результат відображається на екрані дисплея у формі геодезичних координат або у вигляді індексу напрямку.

- Польове картографування, формування баз даних. Обов'язкова можливість атрибутування об'єктів знімання, підключення до засобу обробки.

- Геодезичні вимірювання. Точність визначення місцезнаходження – сантиметри і частки сантиметрів. У комплекті є не менше 2-х спеціалізованих приймачів для вимірювання відстаней фазовим способом.

Контрольні питання

1. Класифікація навігаційних систем. Автономні і неавтономні, позиційні і непозиційні системи. Особливості РНС.

2. Основні поняття радіонавігації: вектор стану, ОРНТ, поверхня і лінія положення, радіонавігаційні та навігаційні параметри, навігаційні функції.
 3. Кутомірні (радіомаяковий і радіопеленгаційний) методи радіонавігації.
 4. Що таке справжній і зворотний пеленг?
 5. Як залежить від дальності лінійна помилка в радіопеленгаторах, що ще впливає на їх точність?
 6. Далекомірні (імпульсний і фазометричний) методи радіонавігації.
- Література:** [1–4, 7].

Практичне заняття № 3

Тема. Застосування технологій супутникових радіонавігаційних систем. Системи моніторингу рухомих об'єктів. Застосування супутникової навігації на автомобільному транспорті

Мета роботи: набуття практичних навичок застосування технологій супутникових радіонавігаційних систем, систем моніторингу рухомих об'єктів, а також прикладних аспектів застосування супутникової навігації під час перевезень автомобільним транспортом.

Короткі теоретичні відомості

Збільшення кількості перевезень, як вантажних, так і пасажирських, вимагає в режимі реального часу детального моніторингу та контролю за переміщенням автотранспорту.

Ефективність роботи автотранспортних підприємств (АТП) значною мірою залежить від своєчасності, повноти, точності та достовірності інформації, отриманої від транспортних засобів, які знаходяться на маршруті.

Застосування супутникових радіонавігаційних систем типу GPS NAVSTAR і ГЛОНАСС дозволяє суттєво покращити якість управління автопарком, а також підвищує безпеку експлуатації транспортного комплексу. З упровадженням навігаційного обладнання на транспорті АТП отримали можливість звіряти маршрутні листи водіїв з реальним маршрутом, відображеним на географічній карті.

Використання спеціалізованого програмного забезпечення, наприклад СКАУТ або АВТОСКАН, дозволяє встановити нецільове використання автотранспорту, який належить підприємствам, зокрема, відхилення від маршруту, зупинку на маршруті, використання службового транспорту для особистих потреб або крадіжку пального.

Супутникові радіонавігаційні системи – це всепогодні системи космічного базування, які дозволяють у глобальних масштабах визначати поточні координати місця розташування рухомих об'єктів, їхню швидкість, а також здійснювати точну координацію часу. Відповідно до концепції ІСАО супутникові навігаційні системи найближчим часом будуть поширеним засобом навігації.

Супутникову радіонавігаційну систему можна розглядати як високотехнологічну інформаційну систему, яка може містити також сегменти космічних і наземних функціональних доповнень.

Ці сегменти являють собою апаратно-програмні комплекси, призначені для забезпечення точності навігаційних визначень, цілісності, безперервності та експлуатаційної готовності системи.

Для отримання інформації в пункті спостереження за автотранспортом використовують автомобільні GPS-трекери, що приєднуються до бортової системи. Використання GPS-трекерів дозволяє будувати диспетчерські системи спостереження та управління рухом, системи GPS моніторингу транспорту [4].

Переваги використання систем супутникового моніторингу транспорту:

- скорочення пробігу автотранспорту: відбувається завдяки оптимізації маршрутів, переміщення та перенаправлення потоку транспорту;

- виключення «людського фактора»: система контролю за автотранспортом унеможливує його нецільове використання для особистих потреб;

- підвищення ефективності використання транспорту: грамотна автоматизована диспетчеризація, з контролем у режимі реального часу, дає можливість знизити час простою транспорту;

– поліпшення якості обслуговування пасажирів: ефективне управління, що ґрунтується на постійному контролі, дозволяє збільшити швидкість обслуговування пасажирських перевезень, кваліфіковано вирішувати спірні ситуації;

– зменшення витрат на закупівлю палива на 20–30 %.

На сьогодні на автомобільному транспорті широко використовують супутникові навігаційні системи, де користувачі, маючи доступ до мережі Інтернет, відстежують у режимі реального часу рух транспортних одиниць, формують статистичні звіти, складають карти місцевості. Подальша розробка та дослідження можливостей супутникових навігаційних систем є перспективним напрямом, що дозволить покращити якість транспортних послуг окремих АТП та галузі транспорту в цілому.

Контрольні питання

1. Які можливості надає автомобільним перевізникам система супутникової навігації?

2. Які системи зв'язку використовуються в організації міжнародних автомобільних перевезень?

3. Як здійснюється супутниковий мобільний зв'язок?

4. Який принцип роботи систем GPS і ГЛОНАСС?

5. Яка апаратура входить до складу мобільного базового комплексу супутникового зв'язку?

6. Які переваги використання на транспорті систем супутникового зв'язку, як проявляється економічний ефект від їх запровадження?

8. Які проблеми функціонування систем зв'язку на транспорті існують в Україні?

Література: [1, 3, 5–7].

Практичне заняття № 4

Тема. Супутникова навігаційна система Галілео

Мета роботи: ознайомлення з принципами побудови та функціонування супутникової навігаційної системи Галілео, системами координат і часу, які вона застосовує.

Короткі теоретичні відомості

Галілео (Galileo) – супутникова система навігації Європейського Союзу та Європейського космічного агентства, розроблена як альтернатива американській системі GPS та російській ГЛОНАСС.

Система призначена для розв'язання навігаційних завдань для будь-яких рухомих об'єктів із точністю менше одного метра. Окрім країн європейського співтовариства, досягнуто домовленості про участь у проекті й інших державами – Китай, Ізраїль, Південна Корея й Україна. Окрім того, ведуться переговори з представниками **Аргентини**, Австралії, Бразилії, Чилі, Індії, Малайзії.

На відміну від американської GPS і російської ГЛОНАСС, система Галілео не контролюється національними військовими відомствами, хоча 2008 року парламент ЄС ухвалив резолюцію «Значення космосу для безпеки Європи», згідно з якою допускається використання супутникових сигналів для військових операцій, що проводяться в рамках європейської політики безпеки. Розробку системи здійснює Європейське космічне агентство. Загальні витрати оцінюються понад 10 млрд євро.

Система почала діяти з грудня 2016 року, коли космічна група налічувала 18 супутників. Повністю розгорнута система складатиметься з 24 операційних та шести запасних супутників на трьох орбітах. Наземна інфраструктура має два центри управління й глобальну мережу передавальних і приймальних станцій.

Для керування супутниками та координації дій системи на території Європи побудовано два наземних центри керування (НЦК): один – у Мюнхені (Німеччина), другий – у Фучіно (Італія). Дані, що збираються

датчиками глобальної мережі Galileo (ССД) спрямовуватимуться до центрів керування Galileo через резервовану мережу зв'язку. Штаб-квартира проекту створена в Празі (Чеська Республіка).

Контрольні питання

1. Які характерні особливості системи Галілео?
2. Основні параметри орбітального угруповання Галілео.
3. Структура частотного плану системи Галілео.
4. Сервісні можливості ГНСС Галілео.
5. Як у ГНСС Галілео організовано обслуговування окремих груп споживачів?

Література: [2, 3, 5, 7, 8].

Практичне заняття № 5

Тема. Супутникова навігаційна система GPS

Мета роботи: ознайомлення з принципами побудови і функціонування супутникової навігаційної системи GPS, системами координат і часу, які вона застосовує.

Короткі теоретичні відомості

Глобальна супутникова система GPS призначена для високоточного визначення трьох координат місця, що становлять вектори швидкості і часу різних рухливих об'єктів. Система розроблена на замовлення і знаходиться під управлінням міністерства оборони (військово-повітряних сил) США. США надають систему в стандартному режимі для цивільного, комерційного та наукового використання без справляння за це спеціальної плати. Визначено, що за використання системи цивільними споживачами відповідає Міністерство транспорту США.

Система глобального позиціонування (GPS) включає в себе 3 сегменти:

- 1) просторовий сегмент (усі робочі супутники);
- 2) сегмент керування (усі наземні станції системи: основна керування і додаткові для контролю);

3) сегмент користувача (усі цивільні та військові GPS-користувачі).

Космічний сегмент складається з 24 супутників, що рухаються навколо Землі по 6 кругових орбітальних траєкторіях (по 4 супутники на кожній) на висоті 20180 км. Період їх обертання – близько 12 год. Супутники випромінюють у діапазонах L1, L2, а останні моделі – у діапазоні L5 (1176,4 МГц). У діапазоні L1 випромінюються сигнали коду C/A, призначені для цивільних користувачів, і сигнали військового коду P (або його шифрованої версії – Y-коду). У діапазоні L2 передаються тільки сигнали військового коду. Супутники ідентифікуються номером PRN (Pseudo Random Number), який відображається на GPS-приймачі. На кожному супутнику встановлено по чотири високоточних атомних (рубідієво-цезієвих) годинники, що передають радіосигнали з власним унікальним ідентифікаційним кодом.

Система працює в двох режимах: PPS (Precise Positioning Service – висока точність вимірювань) і SPS (Standard Positioning Service – стандартна точність вимірювань). PPS-режим використовується в основному військовими і забезпечує точність до декількох сантиметрів, а режим SPS дозволяє визначити координати об'єкта лише з точністю до 100 м.

GPS працює за будь-яких погодних умов у всьому світі 24 години на добу. За її допомогою можна з високою мірою точності визначити координати і швидкість рухомих об'єктів (також і в космічному просторі на відстані до 100 тис. км від поверхні Землі). За користування послугами цієї системи не стягується ні абонентська плата, ні плата за підключення. Щоб користуватися системою GPS, потрібно тільки придбати GPS-приймач.

Супутники GPS обертаються навколо Землі з частотою 2 оберти за добу, передаючи навігаційні радіосигнали. GPS-приймачі, встановлені на об'єкті, приймають ці сигнали і обчислюють місцеположення об'єкта: приймач порівнює час випромінювання сигналу з часом його приймання. Різниця між цими величинами дозволяє обчислити відстань до супутника. Використовуючи величину відстані до декількох супутників, GPS-приймач визначає своє місцеположення і відображає його на електронній карті.

Сучасні багатоканальні GPS-приймачі забезпечують досить високу точність. Так, 12-канальні приймачі Garmin відслідковують 12 супутників GPS одночасно, забезпечуючи швидке і впевнене визначення місцеположення, у тому числі в міських умовах чи під густими кронами дерев. У середньому точність GPS-приймачів складає 15 м.

Контрольні питання

1. Структура і параметри орбітального угруповання. У чому основні відмінності ОГ ГЛОНАСС і GPS?

2. Які модифікації НКА використовуються в GPS на сьогодні, які є перспективними? Їх короткі характеристики.

3. Яке завдання розв'язує міжсупутникова радіолінія та бортова апаратура міжсупутникових вимірювань? Які переваги забезпечує технологія автономної навігації?

4. Як називається документ, яким офіційно регулюються взаємовідносини споживача і ГНСС?

5. Якій у GPS прийнятий спосіб поділу сигналів? Які фізичні параметри сигналів GPS?

6. Яка структура навігаційних сигналів і навігаційних повідомлень GPS?

Література: [1, 2, 4, 5, 8].

Практичне заняття № 6

Тема. Супутникова навігаційна система ГЛОНАСС

Мета роботи: ознайомлення з принципами побудови і функціонування супутникової навігаційної системи ГЛОНАСС, системами координат і часу, які вона застосовує.

Короткі теоретичні відомості

ГЛОНАСС (GLONASS) – це аббревіатура ГНСС-системи, що на сьогодні використовується Російським військовим міністерством. Назва GLONASS означає Global Navigation Satellite System. Програма вперше стартувала в

Радянському Союзу, а зараз працює у СНД. Перші три тестових супутники були запуснені на орбіту 12 жовтня 1982 року.

ГЛОНАСС включає в себе три сегменти: космічний сегмент з орбітальним угрупованням; сегмент керування – наземний комплекс управління орбітальної угрупованням; сегмент апаратури користувачів.

Найбільш важливі характеристики цієї системи:

- 24 запланованих супутники (21 стандартний + 3 резервних). Відносно короткий час життя окремих супутників – від 3 до 4 років, виявився на перешкодї завершення системи;

- 3 орбітальних рівні з кутом $64,8^\circ$ від екватора (це найвищий кут з усіх GNSS систем, він дозволяє мати хороший прийом у полярних областях;

- орбітальна висота – 19100 км;

- орбітальний період – 11 год. 15,8 хв;

- кожен GLONASS-супутник передає два коди (C/A і P-код) на двох частотах. Кожен супутник передає однакові коди (PRN), але на різних частотах в межах 1602 МГц і 1246 МГц. Ці пов'язані частоти повинні бути змінені згодом.

Основне призначення СНРС другого покоління ГЛОНАСС – глобальна оперативна навігація приземних рухомих об'єктів: наземних (сухопутних, морських, повітряних) і низькоорбітальних космічних. Термін «глобальна оперативна навігація» означає, що рухомий об'єкт, оснащений навігаційною апаратурою споживачів (НАП), може в будь-якому місці приземного простору в будь-який момент часу визначити (уточнити) параметри свого руху – три координати і три складові вектора швидкості.

Радіонавігаційне поле СНРС ГЛОНАСС поряд з основною функцією (глобальна оперативна навігація приземних рухомих об'єктів) дозволяє проводити локальну високоточну навігацію наземних рухомих об'єктів (сухопутних, морських, повітряних) на підставі диференціальних методів навігації із застосуванням стаціонарних наземних коригувальних станцій і НККА; високоточну взаємну геодезичну «прив'язку» віддалених наземних

об'єктів, а також визначення орієнтації об'єкта на підставі радіоінтерферометричних вимірювань на об'єкті за допомогою навігаційних радіосигналів, що приймаються рознесеними антенами.

Для визначення просторових координат і точного часу необхідно прийняти і обробити навігаційні сигнали не менш ніж від чотирьох супутників ГЛОНАСС. Під час приймання сигналів ГЛОНАСС приймач, використовуючи радіотехнічні методи, вимірює відстані до видимих супутників та швидкості їх руху.

Одночасно в приймачі виконується автоматична обробка міток часу та інформації, що міститься в навігаційному радіосигналі.

Цифрова інформація описує положення цього супутника в просторі та часі (ефемериди) і положення інших супутників системи (альманах).

Результати вимірювань використовуються для розв'язування навігаційної задачі з визначення координат і параметрів руху об'єкта. Задача розв'язується автоматично в обчислювальному пристрої приймача, при цьому використовується відомий метод найменших квадратів. Так визначається три координати місцеположення об'єкта, швидкість руху і здійснюється «прив'язка» шкал і часу споживача до високоточної шкали Універсального координованого часу (UTC).

Контрольні питання

1. Узагальнена структурна схема супутникових радіонавігаційних систем. Чим і чому відрізняються структури глобальних навігаційних супутникових систем і радіонавігаційних систем наземного базування?

2. Структура та параметри орбітального угруповання ГЛОНАСС.

3. За якої мінімальної кількості робочих навігаційних космічних апаратів система ГЛОНАСС зберігає розрахункову точність, за якої – повну функціональність?

4. Які модифікації навігаційних космічних апаратів використовуються в ГЛОНАСС на сьогодні, які є перспективними? Наведіть їх короткі характеристики.

5. Параметри орбіт навігаційних космічних апаратів ГЛОНАСС. Якого типу (синхронні або несинхронні) ці орбіти? На чому заснований такий вибір?

Література: [1, 2, 3, 7, 8].

2 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ СТУДЕНТІВ

1. Лекції. Загалом 10 балів.

Кількість лекцій – 6 лекцій (12 годин).

Студент за одну лекцію може отримати максимальну оцінку 2 бали. Отримуючи більше 10 балів, студент додатково отримує 2 бали. Вимоги отримання балів: відвідування (0,8 бала), ведення конспекту (0,6 бала), робота на лекції (0,6 бала).

2. Практичні заняття. Загалом 20 балів.

Кількість практичних занять – 5 занять (10 годин).

Виконуючи вимоги, на кожному практичному занятті студент може отримати максимальну оцінку – 4 бали за заняття. Вимоги отримання балів: відвідування (2,4 бала), підготовка до заняття (0,6 бала), ведення конспекту (0,3 бала), активність студента (0,3 бала). Отримуючи більше 15 балів, студент додатково отримує 5 балів.

3. Поточний контроль. Загалом 50 балів. Вони поділяються так: виконання контрольної роботи – 20 балів. Бали, що залишилися, розподіляються рівномірно між двома контрольними за змістовими модулями (по 15 балів), які виконуються письмово. Розподіл балів за відповідь на модулі проводиться так: «незадовільно» – 4 бали, «задовільно» – 6 балів, «добре» – 8 балів, «відмінно» – 15 балів.

4. Підсумковий контроль (екзамен). Загалом 20 балів. Виконується письмово. Бали нараховуються так, залежно від відповіді студента: «незадовільно» – 8 і менше балів, «задовільно» – 12 балів, «добре» – 16 балів, «відмінно» – 20 балів.

Загальна максимальна сума балів – 100 балів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Глобальні супутникові системи навігації та зв'язку на транспорті: навчальний посібник для ВУЗів транспортного профілю / Л. С. Беляєвський та ін. Київ: Видавництво «ДажБог», 2009. 216 с.
2. Гофманн-Велленгоф Б., Легат К., Візер М. Навігація. Основи визначення місцеположення та скеровування Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2006. 449 с.
3. Генике А. А., Побединский Г. Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения. Москва: «Картгеоцентр», 2004. 355 с.
4. Власов И. Б. Глобальные навигационные спутниковые системы: учеб. пособие. Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 182 с.
5. Карлащук В. И., Карлащук С. В. Спутниковая навигация. Методы и средства. Москва: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. 288 с.
6. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и Глонасс. Москва: Горячая линия-Телеком, 2005. 272 с.
7. Соловьев Ю. А. Системы спутниковой навигации. Москва: Эко-Трендз, 2009. 270 с.
8. Кунда Н. Т. Організація міжнародних автомобільних перевезень: навч. посібник. Київ: Видавничий Дім «Слово», 2010. 464 с.