

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ**

КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ

Циклова комісія аеронавігації

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «НАВІГАЦІЯ «РАДІОНАВІГАЦІЯ »
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Аеронавігація

за темою №3.1 – «Глобальні системи: GPS, GLONASS»

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від _____ № _____

СХВАЛЕНО

Методичною радою Кременчуцького
льотного коледжу Харківського
національного університету
внутрішніх справ
Протокол від _____ № _____

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від _____ № _____

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного транспорту
протокол від _____ № _____

Розробник: викладач циклової комісії аеронавігації, спеціаліст вищої категорії, викладач – Журід В.І.

Рецензенти:

1. Професор циклової комісії аеронавігації, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, викладач-методист Тягній В.Г.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

План лекції.

1. Сутність вимірювання параметрів руху ПС.
2. Підсистеми GPS.
3. Навігація ПС з застосуванням GPS MAP-195.

Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті

Основна література:

1. Чорний М.А. Повітряна навігація Кіровоград, 2004, 432 с.
2. Марков В.І. Аеронавігаційне забезпечення польотів на міжнародних повітряних лініях. Кіровоград, 2004, 320 с.
3. Луцький Ю.С Конспект лекцій з повітряної навігації.Кременчук,1994 142 с.
4. Луцький Ю.С. Повітряна навігація. Кременчук, 2001, 128 с.

Допоміжна література:

1. Лопатніков Ю.І. Застосування навігаційного комплексу вертольота Мі-26, Кременчук, 1995, 100 с.
2. Старков Н.В. Застосування навігаційного комплексу вертольота Мі-8МТВ. Кременчук, 1996, 158 с.
3. Миронович М.В. Льотна експлуатація навігаційного обладнання вертольота Ка-32. Кременчук, 2002, 85 с.
4. Положення про використання польотного простору України.
5. Правила польотів ПС в повітряному просторі України.
6. Наказ Міністерства транспорту України № 283 від 16.04.2003 р.
7. Наказ Державної служби України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації № 295 від 28.04.2005

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. uksatse.ua
2. youcontrol.com.ua
2. youcontrol.com.ua

Глобальна система: GPS, GLONASS

З давніх-давен люди використовували для навігації (т. Е. Точного визначення курсу на основі відомостей про місцезнаходження об'єкта) вдень сонце, а вночі - зірки. Але іноді небо покривається хмарами, і тоді визначити своє місце розташування майже неможливо. Сьогодні, коли в небі "засвітилися" штучні "зірки" систем супутникової навігації, подорожньому вже не загрожує небезпека збитися зі шляху.

Перші системи супутникової навігації створювалися винятково для військових потреб, проте в даний час вони широко застосовуються в цивільних цілях. З їх допомогою здійснюється контроль за транспортними і вантажними перевезеннями (автомобільними, залізничними, морськими), відстежується місцезнаходження втрачених або викрадених транспортних засобів, ведеться пошук людей в надзвичайних ситуаціях, проводяться дослідження міграції тварин.

Існують два основних способи визначення місця розташування. Перший передбачає наявність у абонента стандартної навігаційної апаратури, яка дозволяє із заданою точністю визначати координати. Другий метод заснований на визначенні координат по доплеровському зрушенню частоти і не вимагає використання спеціальної навігаційної апаратури.

Системи GPS і "Глонасс"

Глобальна навігаційна система GPS (Global Positioning System), відома також як Navstar (Navigation System with Time and Ranging - Навігаційна система визначення часу і дальності), призначена для передачі навігаційних сигналів, які можуть одночасно прийматися у всіх регіонах світу. Система була розроблена на замовлення Міністерства оборони США, а космічні апарати (КА) виготовила компанія Rockwell International.

Російська супутникова навігаційна система (СНС) аналогічного призначення, відома під назвою "Глонасс" (Глобальна навігаційна супутникова система) розроблялася на замовлення Міністерства оборони Росії, але зараз застосовується для надання навігаційних послуг різним категоріям споживачів - без будь-яких обмежень. Орбітальне угруповання російської системи навігації була розгорнута на початку 90-х рр., А її комерційна експлуатація здійснюється з 1995 р

Архітектура і основні характеристики

Системи GPS і "Глонасс" мають подібну архітектуру. До їх складу входять космічний сегмент, що складається з 24 КА, мережа наземних станцій спостереження за їх роботою і призначений для користувача сегмент (навігаційні приймачі). Всі супутники GPS / "Глонасс" є автономними. Параметри їх орбіт періодично контролюються мережею наземних станцій спостереження, за допомогою яких (не рідше 1-2 разів на добу) обчислюються балістичні характеристики, реєструються відхилення КА від розрахункових траєкторій руху і визначається власний час бортового годинника.

Наземні станції також контролюють справність навігаційної апаратури, встановленої на борту КА. Для виявлення відмов апаратури потрібно, як мінімум, кілька годин.

До основних характеристик супутникових навігаційних систем (табл. 1) крім точності і надійності визначення координат відносяться доступність і цілісність. Термін доступність в системах навігації означає можливість доведення до користувачів навігаційних повідомлень. На практиці доступність оцінюється як ймовірність отримання споживачем навігаційної інформації в заданий часовий інтервал і з необхідною точністю.

Таблиця 1. Основні характеристики супутникових навігаційних систем GPS і "Глонасс"

показник	GPS	"Глонасс"
орбітальне угруповання		
число КА	24	24
Число орбітальних площин	6	3
Число КА в кожній площині	4	8
Висота орбіти, км	20 000	19 100
Нахил орбіти,	55	64,8
Період обертання КА, ч	12	11,26
супутники		
Маса КА стартова / орбітальна, кг	1650/835	Н / д
Потужність сонячних батарей, Вт	700	Н / д
Термін експлуатації, років	7,5	2-3
навігаційні ретранслятори		

Робочі частоти, МГц	L1 = 1575,42; L2 = 12275,6	1602,5 6-1615,5
ЕІВП, дБВт	Н / д	24-27
Потужність передавача, Вт	50 (L1); 8 (L2)	Н / д
поляризація	правобічна	правобічна
Точність навігаційних визначень		
Похибка визначення місця розташування, м	100 (С / А-код); 16 (Р-код)	100 (СКП)
Похибка визначення швидкості руху, м / с	10 (С / А-код); 0,1 (Р код)	0,9
Похибка визначення часу	340 нс (С / А-код); 90 нс (Р-код)	1 мс
Надійність навігаційних визначень, %	95	Н / д
Примітки: Н / д - немає даних; ЕІВП - еквівалентна изотропно випромінювана потужність.		

Цілісність характеризує здатність системи виявляти своє неправильне функціонування і виключати можливість використання її даних користувачами при неприпустимих відхиленнях робочих характеристик. Фактично, коли мова йде про цілісність системи, основною інформацією є дані про стан супутників і їх несправності. Показник цілісності системи - це ймовірність оповіщення споживачів при порушенні її роботи системи в межах допустимого тимчасового періоду.

ШСЗ обладнуються дводіапазонними випромінювачами, що працюють в смузі L1 (1575,42 МГц -19 м) і смузі L2 (1227,60 МГц - 24 м), причому в першій шпальті сигнал кодується кодом загального доступу С / А, що забезпечує режим захоплення і грубого вимірювання , а також кодом Р, призначеним для точних вимірювань і захищеним від несанкціонованого доступу. Друга смуга кодується тільки кодом Р. Спеціальний математичний алгоритм кодування корисного сигналу з високою ймовірністю забезпечує упізнання його випадковим абонентом як "білого шуму". Відзначається, що прийнята в цій СНС система кодування сигналів забезпечує істотне розширення числа фізичних принципів позиціонування (в більш ранній системі [Transit](#), Фактично, використовувався тільки доплеровській ефект і неможливо було, зокрема, пряме вимірювання псевдо).

Структура навігаційних сигналів GPS

Кожен GPS-супутник випромінює на двох частотах (L1 і L2) спеціальний навігаційний сигнал у вигляді фазоманіпулірованих псевдослучайної послідовності. У сигналі зашифровуються два види коду. Один з них - код C / A (coarse / acquisition, або clear / acquisition) - доступний широкому колу цивільних споживачів. Він дозволяє отримувати лише приблизну оцінку місця розташування, тому називається "грубим" кодом. Передача коду C / A здійснюється на частоті L1 з використанням фазової маніпуляції псевдослучайної послідовності довжиною 1023 символу. Захист від помилок забезпечується за допомогою коду Гоулда. Період повторення C / A-коду - 1 мс. Тактова частота - 1,023 МГц.

Інший код - P (precision code), забезпечує більш точне обчислення координат, але користуватися ним здатні не всі; доступ до нього обмежується провайдером послуг GPS. В основному P-код надається військовим і федеральним службам США. Цей код передається на частоті L2 із застосуванням сверждлинной псевдослучайної послідовності з періодом повторення 267 днів. Тактова частота - 10,23 МГц. Крім цих кодів в сигналі GPS може бути присутнім так званий Y-код, який є шифрованого версією P-коду.

Крім кодів C / A і P навігаційний супутник регулярно передає спеціальне повідомлення, яке містить додаткові відомості. Користувач інформується про стан супутника і його параметрах - системному часу, ефемеридах (наборах параметрів, точно описують орбіту руху навігаційного супутника), прогнозі іоносферної затримки, показниках працездатності. Передача навігаційного повідомлення довжиною 1500 біт здійснюється зі швидкістю 50 біт / с на частотах L1 і / або L2.

Використання стандартних навігаційних приймачів GPS / "Глонасс"

Координати рухомого абонента визначаються за допомогою стандартного навігаційного GPS- або GPS / "Глонасс" -приймачі (рисунок 1), вбудованого в термінал користувача. Пристрій, як правило, використовує власну мініатюрну антену і автономно обчислює географічні координати і всесвітній час (UTC) по навігаційним сигналам. В окремих випадках навігаційна антена поєднується із зв'язковою антеною абонентського терміналу (наприклад, в системі Inmarsat-C), а прийом навігаційних даних може здійснюватися як в обслуговується, так і в необслуговуваному режимах його роботи.

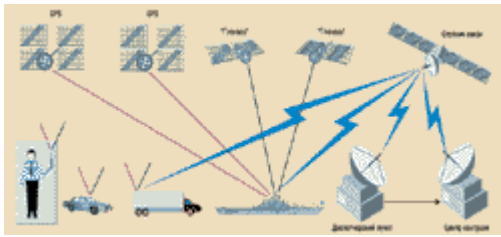


Схема визначення координат об'єкта в системах супутникового зв'язку з використанням GPS / "ГЛОНАСС" - приймачі

GPS / "Глонасс" -приймачі найчастіше застосовуються, якщо необхідно отримати високу точність координат (похибка не більше 100 м). Захопивши сигнал, навігаційний приймач автоматично обчислює координати об'єкта, швидкість сигналу і всесвітній час і формує звіт. Відомості про місцезнаходження об'єкта передаються по супутникових каналах зв'язку в диспетчерський пункт.

Навігаційні пристрої можуть відрізнятися за кількістю каналів прийому, швидкості оновлення даних, часу обчислень, точності і надійності визначення координат. Сучасні GPS-пристрої зазвичай оснащені 6-8 приймачами, що дозволяє відстежувати практично всі навігаційні супутники, що знаходяться в зоні радіовидимості об'єкта. Якщо каналів менше, ніж "спостережуваних" супутників, автоматично вибирається найбільш оптимальне поєднання КА. Швидкість поновлення навігаційних даних - 1 с. Час виявлення залежить від числа одночасно спостережуваних супутників і режиму визначення місця розташування.

Визначення навігаційних параметрів може проводитися в двох режимах - 2D (двовимірному) і 3D (просторовому). У режимі 2D встановлюється широта і довгота (висота вважається відомою); для цього достатньо присутності в зоні радіовидимості трьох супутників. Час визначення координат в режимі 2D зазвичай не перевищує 2 хв. Для визначення просторових координат абонента (режим 3D) потрібно, щоб у відповідній зоні знаходилися не менше чотирьох КА. Яка гарантія час виявлення не більше 3-4 хв і похибка обчислення координат не більше 100 м. Комбіновані GPS / "Глонасс" -приймачі з узагальненим алгоритмом визначення місцеположення навіть при використанні стандартного C / A-коду забезпечують більш високу точність (15-20 м) .

Навігаційний приймач сигналів для системи GPS складається з приймального модуля і малогабаритної антени з малошумливим підсилювачем. Приймальний модуль випускається як у вигляді автономного пристрою з вбудованими джерелами живлення, так і у вигляді окремої плати, що вбудовується в абонентський термінал. На жаль, масовий випуск малогабаритних і відносно дешевих приймачів "Глонасс" поки не налагоджений, тому послугою

визначення місцезнаходження за допомогою цих приймачів користуються переважно російські споживачі, та й то лише в системах спеціального призначення.

На ступінь точності обчислення координат впливає ряд факторів, що залежать від процедури їх визначення. Ці фактори прийнято називати факторами зниження точності. Як правило, при обчисленні координат застосовуються такі стандартні фактори зниження точності:

- *геометричний фактор зниження точності (GDOP)* говорить про ступінь впливу похибок псевдодальності (остання характеризує міру віддаленості споживача від GPS-супутника) показань годин на точність обчислення координат. Залежить від стану супутника щодо GPS-приймача і від зсуву показання GPS-годин. Різниця значень псевдодальності і фактичній дальності пов'язано зі зміщенням показань годин GPS-супутника і споживача, а також із затримками поширення та іншими помилками.
- *горизонтальний фактор зниження точності (HDOP)* показує ступінь впливу точності визначення горизонталі на похибка обчислення координат;
- *фактор зниження точності визначення положення (PDOP)* - це безрозмірний показник, який описує, як впливає на точність визначення координат похибка псевдодальності;
- *відносний фактор зниження точності (RDOP)* по суті дорівнює фактору зниження точності, нормалізовано на період, що становить 60 с;
- *часовий чинник зниження точності (TDOP)* описує ступінь впливу похибки показань годин на точність визначення координат;
- *вертикальний фактор зниження точності (VDOP)* показує ступінь впливу похибки у вертикальній площині на точність визначення координат.

Основними джерелами помилок, що впливають на точність навігаційних обчислень, є наступні.

Похибки, обумовлені режимом селективного доступу (Selective availability, S / A). Реалізуючи цей режим, провайдер послуг GPS (Міністерство оборони США) навмисно знижує точність визначення місцезнаходження для цивільних споживачів. У режимі S / A формуються помилки штучного походження, що

вносяться в сигнал на борту GPS-супутників з метою загрублення навігаційних вимірювань. Такими помилками є невірні дані про орбіти супутника і спотворення показань його годин за рахунок внесення додаткового псевдослучайного сигналу. Величина середньоквадратической помилки через вплив цього фактора становить приблизно 30 м.

Похибки, пов'язані з поширенням радіохвиль в іоносфері. Затримки поширення сигналів при їх проходженні через верхні шари атмосфери призводять до помилок близько 20-30 м днем і 3-6 м вночі. Незважаючи на те, що навігаційне повідомлення, передане з борта GPS-супутника, містить параметри моделі іоносфери, компенсація фактичної затримки в кращому випадку становить 50%. Компенсувати помилки, викликані іоносферної рефракцією, можна при використанні для навігації сигналів, що приймаються на двох різних частотах.

Похибки, обумовлені поширенням радіохвиль в тропосфері. Виникають при проходженні радіохвиль через нижні шари атмосфери. Значення похибок цього виду при використанні сигналів з C / A-кодом не перевищують 30 м.

Ефемеридна похибка. Помилки обумовлені розбіжністю між фактичним становищем GPS-супутника і його розрахунковим становищем, яке встановлюється за даними навігаційного сигналу, що передається з борту КА. Значення похибки зазвичай не більше 3 м.

Похибка догляду шкали часу супутника обумовлена розбіжністю шкал часу різних супутників. Усувається за допомогою наземних станцій спостереження або за рахунок компенсації догляду шкали часу в диференціальному режимі визначення місця розташування.

Похибка визначення відстані до супутника. Даний показник є статистичними, він обчислюється для конкретного супутника і в указаний час. Помилка не корельована з іншими видами похибок. Її величина зазвичай не перевищує 10 м.

Методи підвищення точності навігаційних визначень

Метод диференціальних поправок

Один з основних методів підвищення точності визначення місцезнаходження об'єкта та усунення помилок, пов'язаних з введенням режиму селективного доступу, заснований на застосуванні відомого в радіонавігації принципу диференціальних навігаційних вимірювань.

Диференціальний режим DGPS (Differential GPS) дозволяє встановити координати з точністю до 5 м в динамічній навігаційній обстановці і до 2 м - в стаціонарних умовах. Диференціальний режим реалізується за допомогою контрольного GPS-приймача, званого опорної станцією. Вона розташовується в пункті з відомими координатами, в тому ж районі, що і основний GPS-приймач, і дає можливість одночасно відстежувати GPS-супутники.

Опорна станція включає в себе вимірювальний датчик GPS з антеною, процесор, приймач і передавач даних з антеною. Станція, як правило, використовує багатоканальний приймач GPS, кожен канал якого відстежує один видимий супутник. Необхідність безперервного відстеження кожного КА обумовлена тим, що опорна станція повинна "захоплювати" навігаційні повідомлення раніше, ніж приймачі споживачів. Порівнюючи відомі координати (отримані в результаті прецизійної геодезичної зйомки) з вимірними, контрольний GPS-приймач виробляє поправки, які передаються споживачам по радіоканалу в заздалегідь обумовленому форматі.

Апаратура споживача включає в себе GPS-приймач з антеною, оснащений процесором і додатковим радіоприймачем з антеною, який і дозволяє отримувати диференціальні поправки з опорної станції. Поправки, прийняті від опорної станції, автоматично вносяться в результати власних вимірів призначених для користувача пристроїв.

Для кожного КА, сигнали якого надходять на GPS-приймач, поправка, отримана від опорної станції, складається з результатом вимірювання псевдо. Обчислена поправка сум визначається у вигляді сум $= 1 + 2 \times (tt)$, де 1 - поправка псевдодальності, що передається в повідомленні; 2 - поправка псевдошвидкості (швидкості зміни поправки), що передається в повідомленні; t - час вимірювання приймачем споживача; t - тимчасова прив'язка поправки.

Результати, отримані за допомогою диференціального методу, в значній мірі залежать від відстані між об'єктом і опорної станцією. Застосування цього методу найбільш ефективно, коли переважаючими є систематичні помилки, обумовлені зовнішніми (по відношенню до приймача) причинами, що зазвичай характерно для системи GPS.

Похибки S / A і "відходи" шкали часу компенсуються в диференціальному режимі повністю. Похибки внаслідок затримки сигналів в атмосфері залежать від ідентичності умов проходження

сигналів до опорної станції і об'єкту, а отже, від відстані між ними. Ці похибки компенсуються повністю лише при близькому розташуванні опорної станції і об'єкта. Ефемеридна похибка також найкраще компенсується при невеликому видаленні споживача від опорної станції. За даними причин опорну станцію рекомендується розташовувати не далі 500 км від об'єкту.

Методи контролю за цілісністю

Основними достоїнствами навігаційних систем GPS і "Глонасс" є глобальність обслуговування, висока точність і безперервність визначення координат і швидкості руху об'єкта. Крім того, обидві системи мають можливості підвищення точності і надійності навігаційних вимірювань в результаті застосування диференціального режиму.

Діючи в штатному і диференціальному режимах, ці навігаційні системи повністю задовольняють вимогам точності при визначенні місця розташування цивільних споживачів. Однак в глобальній робочій зоні існуючі системи GPS і "Глонасс", що використовують КА на негеостаціонарних кругових орбітах, не цілком відповідають вимогам окремих категорій користувачів. В першу чергу, це стосується авіації, де необхідні інформація про цілісність систем GPS і "Глонасс" і висока точність навігаційних даних про доступність об'єкта.

Системи з геостаціонарними КА здатні миттєво оцінювати поточний стан орбітальних угруповань GPS / "Глонасс" і своєчасно сповіщати про це споживачів. Крім того, призначена для користувача апаратура може бути оснащена пристроєм для отримання додаткового навігаційного сигналу, що підвищує точність навігаційних параметрів.

В даний час ведуться роботи по поліпшенню показників доступності та цілісності систем GPS / "Глонасс", особливо в частині підвищення достовірності контролю за їх працездатністю і скорочення часу оповіщення об'єкта про цілісність системи.

Можливі два варіанти контролю за цілісністю системи, засновані на внутрішніх і зовнішніх методах контролю.

Внутрішні методи передбачають використання надлишкової інформації навігаційних датчиків споживача, яку вони отримують, приймаючи навігаційні сигнали від більшого, ніж мінімально необхідно, числа супутників. За допомогою спеціальних алгоритмів легко виявити і / або ідентифікувати джерело неправильної інформації. При виявленні джерела проводиться повна відбраковування отриманих рішень навігаційних завдань;

якщо ж супутник, передає невірні дані, точно ідентифікований, то з розрахунків виключаються тільки ті параметри, які були визначені за сигналами цього КА.

Зовнішні методи засновані на створенні мережі станцій для забезпечення контролю за працездатністю навігаційних супутників в режимі реального часу. В цьому випадку вузол мережі - регіональний обчислювальний центр - здійснює обробку даних, одержуваних від наземних станцій спостереження, і формує повідомлення про цілісність системи.

Процедура зовнішнього контролю є більш складною, оскільки потребує створення наземної мережі. Однак таке рішення задачі цілісності дозволяє отримати більш повну інформацію про систему, якої принципово не може мати у своєму розпорядженні окремий споживач при автономному контролі за цілісністю. Зокрема, зовнішні методи контролю дозволяють точно визначати координати КА в орбітальних угрупованнях систем GPS і "Глонасс", а також точні поправки для синхронізації тимчасових шкал геостаціонарних КА і супутників GPS / "Глонасс".