

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «Загальні знання про ПС: Радіообладнання»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***272 Авіаційний транспорт
(Аеронавігація)***

за темою № 6 - Супутникові системи навігації

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.23 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.23 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.23 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023 № 1

Розробник: викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Стущанський Ю.В.

Рецензенти:

1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.
2. Заступник директора з ОЛР, командир авіаційного загону ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Гетьман Ю.Ю.

План лекції:

1. Будова систем глобальної супутникової навігації.
2. Принцип дії систем супутникової навігації.
3. Функції бортового обладнання супутникової навігації.

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

Основна література:

1. П.В. Олянюк. Авіаційне радіобладнання. Підручник для ВУЗів. М: Транспорт 1989р.-318с.
2. В.П. Харченко. Авіоніка. Навчальний посібник. К: НАУ. 2013.- 272с.
3. Авіаційні радіоелектронні системи / О.О.Чужа, О.Г. Ситник, В.М. Хімін, О.В. Кожохіна. – К.:НАУ, 2017. – 264с.
4. А.В. Скрипець. Теоретичні основи експлуатації авіаційного обладнання. Навч. посіб. / А.В. Скрипець. – К.: НАУ, 2003. – 396с.
5. Харченко В.П. Системи зв'язку та навігації : навч.посіб. / В.П. Харченко, Ю.М. Барабанов, М.А. Міхалочкін. – К. : НАУ, 2009. – 216 с.
6. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден. / В.О. Рогожин, В.М. Синєглазов, М.К. Філяшкін. Підручник. – К.: НАУ, 2005. – 316с.

Допоміжна література:

1. В.П. Бабак. Безпека авіації / В. П. Бабак, В. П. Харченко, В. О. Максимов та ін. –К.: Техніка, 2004. – 584 с.
2. Харченко В.П. Радіомаячні системи ближньої аеронавігації: навч. посіб. / В.П. Харченко, В.Г. Мелкумян, О.П. Сушич. – К.: НАУ, 2011. – 208 с.
3. Харченко В.П. Авіоніка безпілотних літальних апаратів / В.П. Харченко, В.І. Чепіженко, А.А. Тунік, С.В. Павлова]; за ред. В.П. Харченка. – К.: ТОВ «Абрис-принт», 2012. – 464с.
4. Конспекти лекцій з базової підготовки технічного персоналу згідно вимог Part-66, Part-147 (Модуль 3, 4, 5, 13, 14)

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. Системи індикації ПС. <https://studfiles.net/preview/6810198/page:28/>
2. Бортова система попередження зіткнень
http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/TM058196.htm
3. HELLI — TAWS http://www.fcs-modification.com/?go=news&n=6&new_language=0

Текст лекції

1. Будова систем глобальної супутникової навігації

Системи глобальної супутникової навігації (Global Navigation Satellite system – GNSS) забезпечують пілота та інші системи ПК координатною інформацією про місцеперебування ПК та еталонним часом. GNSS вимірюють координати ПК (широту, довготу, висоту), три складові вектора швидкості ПК та надають обладнанню ПК точний час.

Натепер розгорнуті й використовуються дві потужні GNSS: GPS (США) та ГЛОНАСС (Росія). Обидві GNSS створювались як військові системи для точного позиціонування об'єктів військового призначення. Послуги GNSS доступні для цивільного використання. Крім того, передбачається розгортання цивільної Європейської GNSS – GALILEO. Китай теж почав створювати GNSS – BEIDOW.

Загалом GNSS складається з трьох сегментів:

- сегмента космічних апаратів;
- сегмента керування та контролю;
- сегмента користувачів.

Сегмент космічних апаратів складається з певної кількості штучних супутників Землі (ШСЗ). Вони виконують функцію маяків, що випромінюють навігаційні сигнали, за допомогою яких приймач супутникових сигналів визначає місцеположення. Сегмент керування та контролю складається з наземних станцій, розміщених у різних частинах земної поверхні таким чином, щоб забезпечувати зв'язок з усіма ШСЗ GNSS. Наземні станції контролюють положення та параметри кожного ШСЗ. Для визначення координат користувача необхідна інформація про точне

місцеперебування кожного ШСЗ. Наземні станції спостереження за допомогою точного радіолокаційного обладнання визначають положення кожного ШСЗ та через підстанції завантаження інформації передають їх на ШСЗ.

Сегмент користувача складається з необмеженої кількості приймачів супутникових сигналів.

Принцип дії GNSS полягає у далекомірному методі позиціонування. Принцип визначення координат користувача за допомогою GNSS показано на рис.

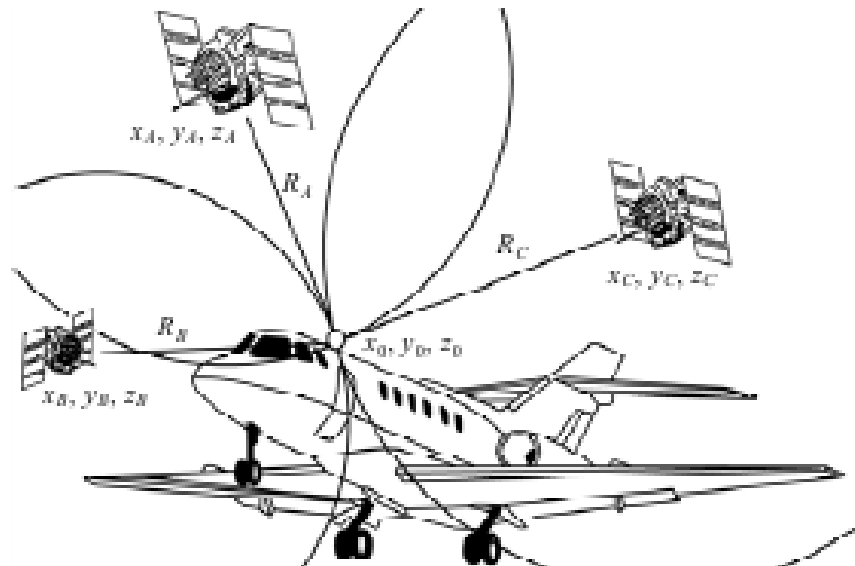


Рисунок 1 – принцип дії супутникової системи навігації

2. Принцип дії систем супутникової навігації

З увімкненням приймача GNSS він починає приймати навігаційні сигнали від ШСЗ. Крім того, із ШСЗ приймається і завантажується альманах. Альманах GNSS містить точну інформацію про кожний ШСЗ, зокрема його положення у певний час. За відомими координатами ШСЗ на певний час доби з використанням рівняння траєкторії руху ШСЗ розраховується точне положення ШСЗ на поточний час. Таким чином, приймач GNSS отримує актуальну інформацію про положення кожного ШСЗ.

Дальність від ШСЗ до користувача визначається шляхом вимірювання часу проходження навігаційного сигналу. Кожний із ШСЗ у строго визначений час випромінює певний навігаційний сигнал. Приймач GNSS «знає» час, коли сигнал на ШСЗ буде випромінений. У цей самий час приймач за допомогою вбудованого годинника генерує аналогічний навігаційний сигнал і подає його на лінію затримки. Після прийняття навігаційного сигналу від ШСЗ прийнятий сигнал порівнюється із затриманим через обчислення автокореляційної функції. У випадку, коли обидва сигнали будуть порівнюватись в один і той же час, значення автокореляційної функції дорівнюватиме одиниці. Водночас від лінії затримки отримується час t , за який навігаційний сигнал від ШСЗ надійшов до приймача.

Дальнометрія заснована на обчисленні відстані з тимчасової затримки поширення радіосигналу від супутника до приймача. Якщо знати час поширення радіосигналу, то пройдений ним шлях легко обчислити, просто помноживши час на швидкість світла.

Кожен супутник системи GPS безперервно генерує радіохвилі двох частот - $L1 = 1575.42\text{МГц}$ і $L2 = 1227.60\text{МГц}$. Потужність передавача становить 50 і 8 Ватт відповідно. Навігаційний сигнал являє собою фазовоманіпульований

псевдовипадковий код PRN (Pseudo Random Number code). PRN буває двох типів: перший, C / A- код (Coarse Acquisition code - грубий код) використовується в цивільних приймачах, другий P- код (Precision code - точний код), використовується у військових цілях, а також, іноді, для вирішення завдань геодезії і картографії. Частота L1 модулюється як C / A, так і P -кодом, частота L2 існує тільки для передачі P- коду. Крім описаних, існує ще й Y -код, що представляє собою зашифрований P- код (у воєнний час система шифровки може мінятися).

Період повторення коду досить великий (наприклад, для P- коду він дорівнює 267 дням). Кожен GPS- приймач має власний генератор, що працює на тій же частоті і модулюючий сигнал по тому ж закону, що і генератор супутника. Таким чином, за часом затримки між однаковими ділянками коду, прийнятого з супутника і згенерованого самостійно, можна обчислити час поширення сигналу, а, отже, і відстань до супутника.

Оскільки внутрішній годинник у приймачі навігаційних сигналів не може точно визначити час для синхронізації, то, визначаючи дальність, необхідно враховувати похибку годинника користувача.

Відповідно до цього для визначення місцеперебування користувача необхідно приймати сигнали не менше ніж від чотирьох навігаційних ШСЗ.

Точність позиціонування GNSS дуже залежить від числених похибок. Одні з них пов'язані з геометрією розташування ШСЗ над користувачем та локальних похибок, зумовлених проходженням радіосигналу через атмосферу.

Одним зі шляхів зменшення впливу цих похибок є застосування локальних станцій визначення диференціальних поправок GPS (Differential Global Positioning System – DGPS). На сьогодні GPS розвиває мережу функціональних доповнень до GNSS, що забезпечують користувача повідомленнями про похибки GNSS у певному регіоні.

У США створюється та розвивається мережа функціональних доповнень Wide Area Augmentation System (WAAS) та Local Area Augmentation System (LAAS) у Європі – European Geostationary Overlay System (EGNOS), в азіатсько-тихоокеансь-кому регіоні – Multifunction transport Satellite System (MTSAS)

Станція диференціальних поправок розміщується на земній поверхні з точно відомими координатами. Приймач GNSS, розміщений на станції, визначає місцеположення. Розраховуючи різницю між точним місцеположенням та координатами, отриманими за допомогою GNSS на заданий час, визначають поправки, які передаються користувачу через супутники зв'язку.

Диференціальні поправки приймаються приймачем GNSS через ту саму антену, що й сигнали від навігаційних ШСЗ.

3. Функції бортового обладнання супутникової навігації

Сучасне навігаційне обладнання GNSS розраховує координати місцеположення за результатами оцінювання координат від двох GNSS: GPS і ГЛОНАСС з подальшим визначенням більш точного положення.

Бортове обладнання GNSS виконує такі основні функції:

- визначення координат ПК;
- обчислення географічних координат місцеположення;
- оцінювання геодезичної висоти польоту ПК;
- визначення трьох складових вектора швидкості ПК;
- визначення шляхового кута;
- обчислення шляхової швидкості ПК;
- забезпечення системи ПК точним часом UTC;
- індикацію координат.

Обладнання GNSS дуже часто інтегрується з іншими системами ПК такими, як FMS (RocwellColins – FMS-5000; Universal Avionics – UNS-1Ew, UNS-1Fw, UNS-1Lw; Honeywell – GNS-XLS), чи з індикатором повітряної обстановки для легкої авіації. Деякі виробники бортового обладнання GNSS інтегрують базу аеронавігаційної інформації у приймач GNSS і забезпечують можливість програмування плану польоту ПК. Це дає змогу надавати пілоту інформацію про величини відхилення ПК від заданої траєкторії руху та вказувати на аеронавігаційні засоби, розміщені поблизу ПК (CH-3301).

Коли є різні навігаційні системи, сама собою напрошується думка про їх спільне використання в цілях реалізації найкращих характеристик кожної з них. Очевидний варіант для морехідної навігації - поєднання систем "Омега" і "Лоран-С". Перша з них забезпечує глобальне охоплення, а друга - більш точні дані там, де це можливо, тобто поблизу узбережжя, де і потрібно більш точна навігація. Найбільш досконалою в даний час видається комбінація інерціальної навігаційної системи з супутниковою системою GPS. Тільки ІНС здатна відстежувати маневри високошвидкісного літака і безперервно виводити на дисплей змінюються значення координат, швидкості і орієнтації.

Дані ж системи GPS можна було б використовувати для контролю за накопиченням помилки інерціальної системи, що дозволило б такої комбінованої навігаційній системі точно вказувати координати і швидкість за тривалі проміжки часу і стабілізувати свідчення ІНС по висоті.