

# Глобальні системи супутникової навігації (опорний конспект)

## Тема 1. Предмет і задачі дисципліни. Основні поняття та визначення.

План:

1. Загальні задачі навігації і супутникової навігації. Роль радіонавігації в рішенні задач перевезення автомобільним транспортом.
2. Навігаційні системи координат. Шкали часу. Навігаційні елементи.

### 1. Загальні задачі навігації і супутникової навігації. Роль радіонавігації в рішенні задач перевезення автомобільним транспортом.

Ефективне управління перевезеннями залежить від наявності систем зв'язку з автомобілями і контролю за їх рухом.

Знаючи місце знаходження і термін прибуття автомобіля, можна більш ефективно планувати перевезення і завантаження автомобіля. Можна переключатися автомобіля на більш вигідні замовлення. Скорочуються простой під навантаженням-розвантаженням, якщо диспетчер повідомить клієнту про точний час прибуття автомобіля. Для водія можна своєчасно замовити паром, технічний сервіс, номер в готелі.

Наявність систем зв'язку з водієм дозволяє контролювати рух вантажу. Це приваблює клієнтів, особливо під час перевезення цінних або небезпечних вантажів. Крім того, постійний контроль руху транспортних засобів знижує ризик страховика, і можуть бути знижені страхові внески.

В управлінні транспортними перевезеннями використовуються такі основні типи засобів і систем зв'язку:

В управлінні автомобільними транспортними перевезеннями використовуються такі основні типи засобів і систем зв'язку:

- радіосв'язь:
  - ближня зв'язь в діапазоні 27 МГц;
  - коротковолнова (КХ);
  - ультракоротковолнова (УКХ);
  - транкинговий;
- сотовая мобільная зв'язь;
- супутникова мобільная зв'язь.

Супутниковий зв'язок - один з видів радіозв'язку, заснована на використанні штучних супутників Землі (ШСЗ) в якості ретрансляторів. Супутниковий зв'язок здійснюється між наземними станціями, які можуть бути як стаціонарними, так і рухливими.

Супутниковий зв'язок в найбільшій мірі відповідає потребам міжнародних автоперевізників, так як забезпечує найширшу зону дії. Системи супутникового зв'язку можна розділити на дві групи: системи на основі геостаціонарних супутників і системи на основі низькоорбітальних супутників.

## **2. Навігаційні системи координат. Шкали часу. Навігаційні елементи.**

Супутниковий мобільний зв'язок дозволяє визначати координати місцезнаходження об'єкта. Працює система таким чином. На орбітах навколо Землі знаходиться певна кількість Спутник з таким розрахунком, щоб в будь-якій точці земної поверхні в будь-який час в зоні прямої видимості знаходилося не менше трьох супутників. На кожному з них встановлено високоточні атомні годинники. Супутниковий приймач, яким оснащено транспортний засіб, направляє сигнал на ці супутники і отримує відбитий від них сигнал разом з координатами кожного з супутників і сигналами точного часу. За різницею переданого і відбитого сигналів обчислюється відстань до кожного з супутників, від яких прийнято відбитий сигнал.

За координатами супутників і відстані до них однозначно визначаються координати об'єкта на земній поверхні. Система дозволяє також визначити висоту над рівнем моря, напрямок і швидкість руху об'єкта.

Транспортні супутникові системи нового покоління повсюдно використовують навігаційну систему GPS і дають можливість створювати диспетчерське обслуговування перевезень з прийнятною вартістю.

### **Тема 2. Світові глобальні навігаційні супутникові системи.**

План:

- 1. Основні поняття і принцип дії супутникових навігаційних систем (СНС).**
- 2. Світові глобальні і регіональні СНС (GNSS).**
- 3. Супутникова система функціональних доповнень\*.**

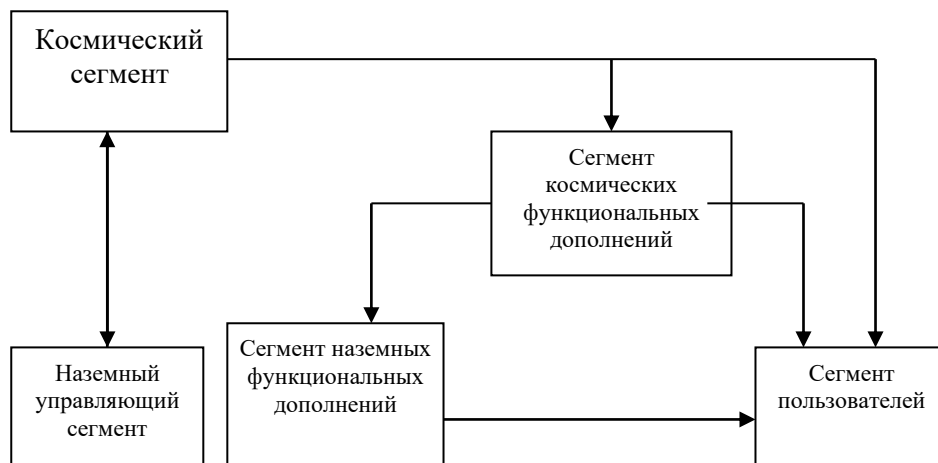
#### **1. Основні поняття і принцип дії супутникових навігаційних систем (СНС).**

Принцип действия всех спутниковых навигационных систем заключается в том, что навигационные спутники, которые постоянно двигаются по своим орбитам, излучают специальные электромагнитные сигналы. Эти сигналы с помощью специальной аппаратуры, находящейся на Земле, принимают сигнал и после специальной обработки получают данные о местоположении и скорости движения объекта.

Как правило, спутниковые системы состоят из трех основных компонентов: спутникового, наземного и абонентского сегментов.

Спутниковый сегмент - это группа основных и резервных спутников; наземный - это наземные станции контроля, наблюдения и соединения, центр управления спутниковым (космическим) сегментом; абонентский - это портативные ручные телефоны, мобильные комплекты, стационарные абонентские терминалы.

Если рассматривать более подробно, спутниковую навигационную систему можно рассматривать как высокотехнологическую информационную систему, которая состоит из 5 сегментов.



1. Космический сегмент представляет собой систему навигационных спутников, вращающихся по орбитам вокруг Земли. На каждой орбите находится несколько спутников, на борту которого находится радиоэлектронная аппаратура.

2. Наземный управляющий сегмент включает в себя:

- а) станции слежения за навигационными спутниками;
- б) радиолокационные и оптические аппараты контроля состояния навигационных спутников.

Управляющий сегмент решает задачи определения прогнозирования и уточнения параметров движения навигационных спутников, формирование и передачу бортовой аппаратуры к спутникам цифровой информации.

3,4. Сегменты наземных и космических функциональных дополнений – это аппаратно-программные комплексы, предназначенные для обеспечения точности навигационных определений, целостности, непрерывности, доступности и эксплуатационной готовности системы.

5. Сегмент пользователей состоит из неограниченного количества спутниковых навигационных приемников, которые принимают сигналы и производят расчеты текущего местоположения, скорости, времени определенной навигационной системой и аппаратурой потребителя.

*Эфемериды* – спрогнозированные параметры орбиты спутника в определенный момент времени.

*Альманах* – набор сведений о текущем состоянии навигационной системы в целом, то есть, данных о текущем положении всех спутников на орбитах.

*Навигационные сообщения* – это пакетные данные от спутника, содержащие эфемериду с метками времени и альманахом.

## 2. Світові глобальні і регіональні СНС (GNSS).

По зоне обслуживания СНС делятся на: глобальные, региональные и функциональные дополнения.

К глобальным спутниковым системам относятся:

- GPS или Navstar. Эта система разработана США. Ее основная характеристика:

1	Количество спутников	30-36
2	Количество плоскостей	6
3	Количество спутников на орбите	5-6
4	Высота орбиты	20181
5	Наклон орбиты	55°
6	Период обращения	11 час 58 мин

Этот проект был запущен в 1989 году и продолжился в 1994 году. В этот период на орбиту были выведены 24 космических аппарата. Начиная с 2005 года на орбиту выводятся спутники с улучшенными характеристиками, количеством 7 штук, уже для гражданского использования и с активным сроком существования 12 лет. Планируется запустить спутник третьего поколения, сроком активного существования до 15 лет.

- GALILEO. Разработка Европейского Союза. Ее характеристики:

1	Количество спутников	30
2	Количество плоскостей	3
3	Количество спутников на орбите	10
4	Высота орбиты	23222 км
5	Наклон орбиты	56°
6	Период обращения	11 час 4 мин

Начальный этап создания начался в 2005 года, когда на орбиту было выведено 2 испытательных спутника предназначенных для исследования дальномерных навигационных сигналов. В 2011-2012 гг. были осуществлены запуски четырех экспериментальных спутников для проведения орбитальных испытаний бортовой аппаратуры и проверки ее совместимости с наземными станциями. В 2015 г. запланированы запуски первых спутников, а также развертывания орбитальной группировки 30 спутников = на 2018 год.

- Система ГЛОНАСС, которая является разработкой Российской Федерации. Ее характеристики:

1	Количество спутников	24
2	Количество плоскостей или орбит	3
3	Количество спутников на орбите	8
4	Высота орбиты от поверхности Земли	19100 км
5	Наклон орбиты	64°
6	Период обращения	11 час 15 мин

В 1982 г. был запущен первый спутник системы ГЛОНАСС. После этого в 1995 г. количество спутников было доведено на орбите до 24 спутников, что

обеспечивает глобальные непрерывные местоопределения. Начиная с 2003 г. был запущен спутник нового поколения, с лучшими характеристиками Сроком активного существования 7 лет. В 2009г. количество спутников второго поколения достигло 23 штук. В 2011г. осуществился запуск спутника третьего поколения. Срок активного существования до 10 лет. На период 2014-2015 гг. планируется запуск спутника четвертого поколения, служба которого 12 лет, при этом улучшается точность позиционирования до 0,5 м.

- Компас-М. Страна разработчик – Китай. Характеристики:

1	Количество спутников	27
2	Количество плоскостей	3
3	Количество спутников на орбите	9
4	Высота орбиты	21527 км
5	Наклон орбиты	55°
6	Период обращения	12 час 53 мин

Развертывание системы приходится на период 2000-2003г. Когда был запущен спутник первого поколения. Который выполнял функции по определению местоположения. Начиная с 2007 года на протяжении 5 лет было выведено 16 спутников. В таком составе орбитальная группировка позволила обеспечивать навигационные услуги с точностью от 10 до 15 метров.

В 2012 году – создание системы спутников 3 поколения, которая на конец 2020 должна иметь в составе космического элемента 27 спутников. Они будут излучать 11 сигналов из которых 6 открытых и 5 закрытых.

Кроме глобальных систем спутниковой навигации имеются и региональные:

- Индийская региональная спутниковая система (ИРСС)

1	Количество спутников	7 ( из которых 3 геостационарные)
2	Количество плоскостей	3
3	Количество спутников на плоскости	3
4	Высота орбиты	20100км
5	Наклон орбиты	29°

Первый спутник на орбите – 2013г. ИРСС полностью совместима с сигналами американской спутниковой системы Navstar или GPS и европейской GALILEO.

- Японская региональная спутниковая система (ЯРСС). Quasi Zenith, принцип ее функционирования состоит в том что на территории страны находится 3 геостационарных спутника с наклоном орбиты 70-80°. Такой наклон позволяет всегда находится спутникам в зените. Запуск первого спутника был осуществлен в 2010г.

### 3. Супутникова система функціональних доповнень\*.

Спутниковая система функциональных дополнений называется SBAS. Она создана для получения точности и доступности навигационных услуг. Принцип функционирования основан на использовании дополнительных передатчиков наземных опорных станций.

**WAAS** – эта система с широкой зоной действия. Она служит для повышения точности позиционирования навигационных GPS систем. Создана в 2000г. на территории США, для точного определения взлета и посадки авиации. Эта система содержит около 30 базовых наземных станций которые предназначены для приема GPS сигналов.

**EGNOS** – европейская геостационарная служба навигационного покрытия. Предназначена для улучшения работы системы GALILEO на территории Европы и является аналогом американской WAAS. В состав входит 3 геостационарных спутника и сеть из 10 наземных станций. Зона действия системы охватывает всю Европу, север Африки и небольшую часть России. Охватывает всю Украину кроме восточных областей.

**СДКМ** – система дифференциальной коррекции и мониторинга. Разработана в РФ и введена в работу в 2012г. Она осуществляет 2 вида мониторинга: 1) оперативный мониторинг, основной задачей которого, является оценивание в реальном времени погрешности измерений навигационных космических Glonass и GPS. 2) апостериорный мониторинг предназначен для оценки качества определения местоположения при помощи спутника. Основная задача – это выявление и фиксирование спутников, выдающих большие погрешности при излучении, что есть причиной их неполадки.

**MSAS** – система для обеспечения полетов авиации. Зона действия - Япония. Она была развернута в 2005г. состоит из 2х геостационарных спутников и 4 наземных станций. Эта система полностью совместима с американской Navstar. Запуск еще 2х геостационарных спутников запланирован на 2016 год.

*Геостационарные спутники в отличии от навигационных спутников Glonass и GPS не имеют источника сигналов, а работают в виде ретранслятора, который только повторяет сигналы полученные от наземных станций.*

**INDIAN WAAS GAGAN.** В эксплуатации с 2009 года. Состоит из 2х геостационарных спутников и 10 наземных станций. Предназначен для обеспечения гражданской авиации.

### **Тема 3. Структура і характеристики навігаційних систем і навігаційної апаратури споживача.**

План:

**1. Загальна структура супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) і функціональних доповнень.**

**2. Характеристики руху навігаційних супутників. Загальні підходи до формування сигналів в СРНС.**

**1. Загальна структура супутникових радіонавігаційних систем (СРНС) і функціональних доповнень.**

Країни Європейського Союзу за ініціативою Європейської Комісії та Європейського Космічного Агентства ЕКА розгорнули цивільну глобальну навігаційну супутникову систему Galileo, що спирається на власні супутники.

Політичною метою було забезпечення альтернативи GPS (США) під цивільним контролем. Система має бути:

- незалежною від ГЛОНАСС та GPS, але взаємодіяти з ними;
- керованою під міжнародним контролем;
- більш точною та доступною;
- рентабельною;
- відкритою для участі інших партнерів.

ЄС долучають до створення навігаційної системи і треті сторони, такі як Китай та Ізраїль, а також Індію, Росію, Бразилію, Мексику, Південну Корею, Австралію. У разі успішного втілення проекту сигнал Галілео отримають близько 3 млн. користувачів, а прибутки становитимуть на 2010 рік \$250 млрд.

Система має задовольняти вимоги Міжнародної організації цивільної авіації (ІКАО) та Міжнародної морської організації (ІМО) по забезпеченню безпеки руху транспортних засобів. Вона призначена для задоволення цілого ряду потреб, серед яких транспорт є найбільш важливою. Це контроль за дорожнім і залізничним рухом, управління парком вантажних автомобілів, слідкування за вантажами, що перевозяться по всьому світу. Так, наприклад, зменшення часу проходження маршрутів по Європі наземним транспортом на 1% дає додаткову економію затрат на 200 млрд. €, сприяє зниженню інтенсивності дорожнього руху, зменшенню забруднення довкілля.

Крім того, Галілео підтримує безліч видів професійної діяльності: цивільне будівництво, містобудування, сільське господарство, риболовлю, гірничу промисловість, розробку родовищ нафти і газу, службу пошуку і спасіння потерпілих (КОСПАС).

## **2. Характеристики руху навігаційних супутників. Загальні підходи до формування сигналів в СРНС.**

Система Галілео базується на угрупованні з 21 середньоорбітального космічного апарата (СКА), що рухаються по орбіті на висоті 24000 км, і може доповнюватися трьома геостационарними космічними апаратами (ГКА). Запуск першого КА відбувся у 2004 році, а початок експлуатації – у 2008 році.

Галілео передає один загальнодоступний сигнал OAS (Open Access Service – служба відкритого доступу) та один чи два сигнали з контрольованим доступом CAS (Controlled Access Service – служба контрольованого доступу). Сигнал OAS еквівалентний сигналу GPS, безплатний, доступний для рядового споживача – навіть пішохода, забезпечує точність порядку 10 м. Сигнали CAS – платні, шифровані, призначені для споживачів, які потребують більш високого рівня точності та надійності (наприклад, урядових). Визначення місця забезпечується з точністю 3-4 м.

У системі передбачена нова структура сигналу, випромінюваного навігаційними супутниками, відмінна від структури сигналів GPS і ГЛОНАСС більш високою тактовою частотою, що підвищить точність вимірювання відстаней та швидкість передачі інформації споживачам. Геометрія розташування навігаційних супутників сприяє рівномірності робочих зон навігації по земній кулі та покращує доступність навігаційного забезпечення споживачів.

Хоча система Галілео перебуває під цивільним контролем, передбачено її використання і для спеціальних споживачів: поліції, служби попередження і ліквідації надзвичайних ситуацій тощо. Таким чином, буде використовуватися і закритий сигнал, як у GPS і ГЛОНАСС.

Система Галілео почала передавати сигнали у 2005 році, введена в експлуатацію повністю у 2008 році.

#### **Тема 4. Загальні принципи функціонування супутникових навігаційних систем.**

- 1. Шкали часу СНС і їх синхронізація.**
- 2. Система координат прийнятих СНС.**
- 3. Навігаційні характеристики супутників і принципи роботи СНС.**
- 4. Основи визначення місцеположення об'єктів.**
- 5. Фактори похибки вимірювання СНС\*.**

##### **1. Шкали часу СНС і їх синхронізація.**

СНС представляет собой комплекс орбитальных объектов, опорных контрольных станций и приемников потребителей имеющих жесткие привязки о пространственно временным параметрам, кроме того большинство параметров СНС должны использовать единую шкалу времени, по этому на практике применяют 3 шкалы времени:

- системную шкалу;
- бортовую шкалу;
- шкалу потребителя.

Основной шкалой времени СНС является **системная**. Для ее формирования используются наиболее точные квантовые эталоны времени и частоты, расположенный в наземных измерительных станциях.

**Бортовая шкала времени** формируется атомными часами, расположенными на борту навигационного спутника. К бортовой шкале времени привязываются все навигационные сигналы, излучаемые со спутников. Между бортовой и системной шкалой всегда возникают расхождения. Для определения величины ухода бортовой шкалы относительно системной наземный комплекс управления производит сверку шкал. Существует два вида коррекции: 1) фазирование бортовой шкалы, позволяющее совместить шкалы до десятков нано секунд; 2) оцифровка – коррекция излучаемого кода спутника на целое число секунд.

Наиболее нестабильное и смещенное относительно системной шкалы является **шкала времени потребителя**, которая формируется кварцевым генератором приемника.

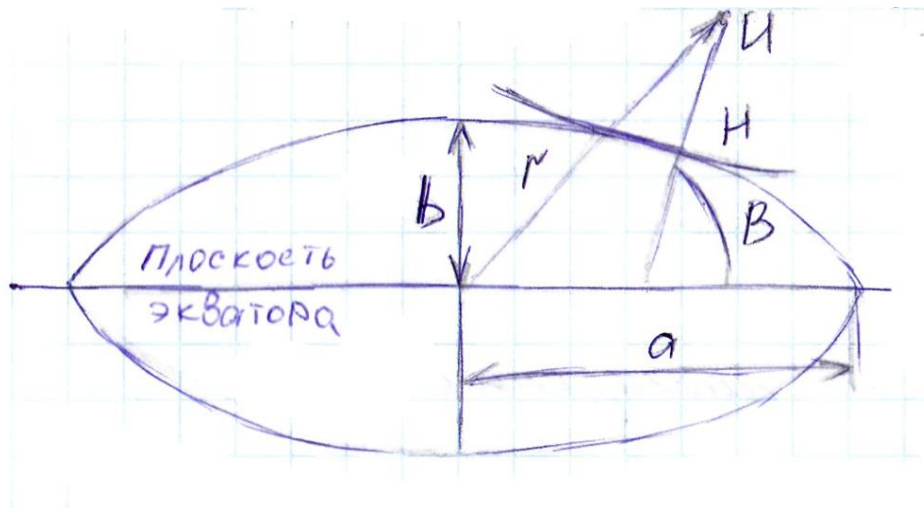
Существует несколько способов синхронизации шкалы времени потребителя. В первом способе инфо, принятая потребителем используется как привязка шкалы времени потребителя к системной шкале при нахождении временных координат. Этот способ наиболее распространен и обеспечивает точность привязки не менее одной микро секунды. Второй способ основан на том, что потребителю в навигационном сообщении передается метка времени навигационного спутника и частотно временные поправки. Третий способ аналогичен второму, но в качестве источника инфо используются дальномерные коды.



## 2. Система координат принятых СНС.

Движение навигационного спутника описывается законами небесной механики и происходит под действием сил инерции и притяжения Земли. Соответственно движение спутника рассматривается в системе координат с центром расположенном в центре массы Земли.

Рассмотрим Земной эллипсоид при определении геодезических систем координат



Геодезические координаты точки описывают ее расположение относительно поверхности Земли. Физическая модель Земли представляет собой эллипсоид с большой полуосью  $a$ , лежащей в экваториальной плоскости и малой полуосью  $b$ .

Геодезическая широта точки – это величина угла между нормалью поверхности эллипсоида и плоскостью экватора.

Геодезическая долгота – величина угла между плоскостью начального координата и плоскостью меридиана, проходящего через точку  $И$ .

Геодезическая высота – это расстояние по касательной от точки  $И$  и до поверхности эллипсоида.

Вычисленные геодезические координаты в ходе дальнейшего навигационного определения подлежат преобразованию с использованием следующих соотношений:

$$x = (N + H) \cos B \cos L$$

$$y = (N + H) \cos B \sin L$$

$$z = [(1 - e^2)N + H] \sin B$$

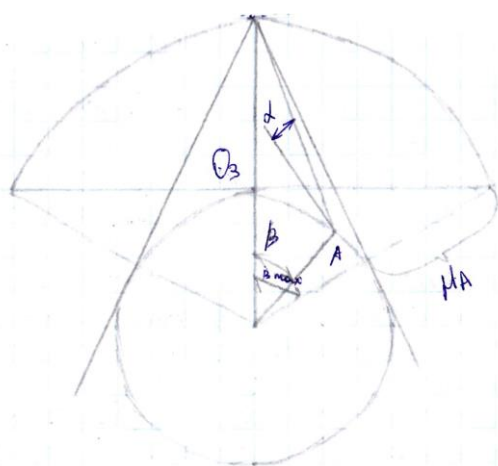
$$e \quad N = a / \sqrt{1 - e^2 \sin^2 B}; e = \sqrt{1 - b^2 / a^2} = \sqrt{2\alpha - \alpha^2} - \text{эцентриситет эллипсоида}$$

$$\alpha = 1 - b/a - \text{параметр сжатия эллипсоида}$$

## 3. Навігаційні характеристики супутників і принципи роботи СНС.

К основным навигационным характеристикам спутника относятся:

- зона обзора;
- зона видимости;
- продолжительность наблюдения.



Важным параметром СНС является площадь обзора, которая определяется:

$$S_3 = \sin^2(\beta^2 \max / 2)$$

$$S_3 = 4\pi R_3^2$$

$S_3$  - площадь поверхности Земли

$\beta \max$  - угол обзора

$R_3$  - радиус Земли

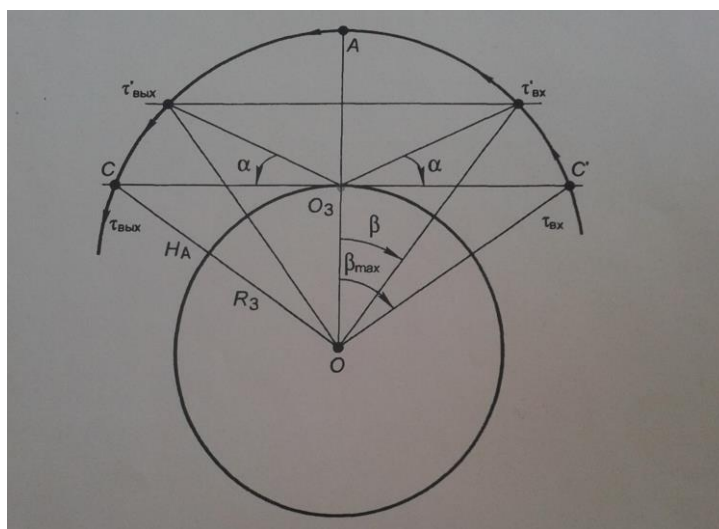


Рис. Зона видимости спутника

Согласно рисунку, для определения условий видимости спутника для наблюдателя расположенной в точке  $O_3$ , лежащей на трассе спутника. Область, которая наблюдается: спутник с момента восхода над горизонтом до момента захода, называется зоной видимости.

Продолжительность видимости определяется как разница  $\tau_{\text{вых}} - \tau_{\text{вх}}$

где,  $\tau_{\text{вых}}$  - момент захода спутника;

$\tau_{\text{вх}}$  - момент восхода над горизонтом.

Продолжительность видимости зависит от высоты полета или периода обращения спутника, продолжительность видимости максимальна, если спутник проходит через зенит.

#### 4. Основи визначення місцеположення об'єктів.

Навигационные задачи – нахождение пространственно временных координат и вектора скорости объекта. В результате решения навигационной задачи должны быть найдены пространственные координаты  $x, y, z$  и поправка  $t$  времени (шкалы) относительно шкалы времени на спутнике.

Потребитель или наблюдатель измеряет задержку сигнала, а также выделяет из сигнала данные альманаха и эфемериды.

Задержка сигнала соответствует отношению скорости света к дальности до спутника:

$$\tau = \frac{c}{R}$$

Скорость сближения равна произведению:

$$V = fd \cdot \lambda$$

$fd$  - смещение частоты при излучении сигнала

$\lambda$  - длина волны излучаемого сигнала и спутника

Для определения местоположения конкретной точки необходимо:

1) Вычислить расстояние от спутника до пользователя

2) Вычислить расстояние от пользователя до ещё нескольких спутников. Вот как это происходит: вычисляем расстояние от спутника №1 до пользователя, при этом мы представляем сферу, где центром будет спутник №1. Вычислив расстояние от пользователя к спутнику №2, где центром будет спутник №2. Где эти две сферы пересекутся, будет область нашего предполагаемого местоположения. Для получения более точных данных нас понадобится информация о расстоянии до третьего спутника. Место пересечения 3х предполагаемых сфер и будет местом нашего позиционирования. Для устранения и поправки шкалы времени необходимо определить расстояние ещё четвертого спутника. По результатам данных измерений мы получим точное позиционирование нашего местоположения.

**5. Фактори похибки вимірювання СНС (для самостійного вивчення. Література (дивись у кінці: 1, 2, 3).**

#### Тема 5. Супутникова навігаційна система GPS.

План:

**1. Загальна структура системи. Орбітальний і наземний сегменти.**

**2. Частотно-часове забезпечення, навігаційні повідомлення GPS.**

**3. Структура діючих і перспективних сигналів GPS. Розрахунок координат навігаційного супутника за оперативної і неоперативної інформації. Перспективи розвитку GPS\*.**

**1. Загальна структура системи. Орбітальний і наземний сегменти.**

Нині найбільш поширеною супутниковою навігаційною системою є система GPS (Global Positioning System). Її офіційна назва NAVSTAR (Navigation Satellite Time and Ranging). Навстар розроблена на замовлення Пентагону для використання

в комплексах наведення ракет і перебуває під керуванням Міністерства оборони США. У 1980 році її відкрили для цивільного користування.

Що таке GPS? Це глобальна система позиціонування, космічний сегмент якої складається з 24-х 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 в діапазоні L5 (1176,4 МГц).

## **2. Частотно-часове забезпечення, навігаційні повідомлення GPS.**

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.

## **3. Структура діючих і перспективних сигналів GPS. Розрахунок координат навігаційного супутника за оперативної і неоперативної інформації.**

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 навкруг 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 прийому. 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 т.ч. і в міських умовах чи під густими кронами дерев. У середньому, точність GPS-приймачів складає 15 м.

## Тема 6. Супутникова навігаційна система ГЛОНАСС

План:

### 1. Орбітальне групування. Наземний сегмент.

### 2. Ефемеридне забезпечення. Частотно-часове забезпечення, навігаційні повідомлення ГЛОНАСС. Структура діючих і перспективних сигналів в СРНС.

#### 1. Орбітальне групування. Наземний сегмент.

Глобальна навігаційна супутникова система ГЛОНАСС (Росія) – це глобальна система позиціонування, за принципом визначення позиції аналогічна американській системі NAV-STAR. Основне призначення середньоорбітальної системи II покоління ГЛОНАСС – глобальна оперативна навігація приземних рухомих об'єктів: наземних (сухопутних, морських, повітряних) та низькоорбітальних космічних. Система була прийнята в експлуатацію в 1993 році.

Орбітальне угруповання навігаційних штучних супутників Землі (НШСЗ) включає 24 НШСЗ. Через слабке фінансування парк супутників системи значно скоротився, притому що мінімально необхідна кількість космічних апаратів (КА) на орбіті для надійного місцевизначення складає 18 КА.

У ГЛОНАСС застосовуються КА на трьох кругових геоцентричних орбітах з висотою 19100 км над поверхнею Землі. На рухомому об'єкті приймаються сигнали не менш ніж від чотирьох радіовидимих супутників. Супутники неперервно випромінюють навігаційні сигнали двох типів: стандартної точності (СТ) в діапазоні L1 (1,6 ГГц) і високої точності (ВТ) в діапазонах L1 та L2 (1,2 ГГц). Сигнали СТ доступні всім споживачам на постійній основі і забезпечують можливість визначення:

- горизонтальних координат з точністю 50—70 м;
- вертикальних координат з точністю 70 м;
- складових вектора швидкості з точністю 15 см/с;
- точного часу з точністю 0,7 мкс.

Ці точності можна підвищити, якщо використовувати диференційний метод навігації або спеціальні методи вимірювань.

Сигнали ВТ призначені, в основному, для споживачів Міністерства оборони Росії, і його несанкціоноване використання не рекомендується.

#### 2. Ефемеридне забезпечення. Частотно-часове забезпечення, навігаційні повідомлення ГЛОНАСС. Структура діючих і перспективних сигналів в СРНС.

Для визначення просторових координат і точного часу необхідно прийняти і обробити навігаційні сигнали не менш ніж від чотирьох супутників ГЛОНАСС. При прийомі сигналів ГЛОНАСС-приймач, використовуючи радіотехнічні методи, вимірює дальності 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 даного супутника в просторі та часі (ефемериди) та положення інших супутників системи (альманах).

Результати вимірювань використовуються для розв'язку навігаційної задачі по визначенню координат і параметрів руху об'єкта. Задача вирішується автоматично в

обчислювальному пристрої приймача, при цьому використовується відомий метод найменших квадратів. Таким чином визначається три координати місцеположення об'єкта, швидкість руху і здійснюється прив'язка шкали часу споживача до високоточної шкали Універсального координованого часу (UTC).

На даний момент орбітальне угруповання налічує 17 супутників. При збільшенні кількості КА до 18 на території Росії забезпечується практично 100-відсоткова неперервна навігація; по території земної кулі неперервна навігація забезпечуватиметься повним угрупованням з 24-х супутників, яке має бути розгорнуте у 2010 році.

З 2008 року система ГЛОНАСС відкрита для цивільного користування. Згідно з постановою Уряду РФ від 9 червня 2009 р. всі транспортні засоби, що вводяться в експлуатацію – літаки, судна, наземний транспорт, космічні апарати, – мають в обов'язковому порядку оснащатися апаратурою супутникової навігації вітчизняної системи ГЛОНАСС або комбінованими приймачами ГЛОНАСС/GPS.

### **Література для самостійного опрацювання питань (наявна в мережі Інтернет у вільному доступі):**

1. Беляєвський Л.С., Левковець П.Р., Топольськов Є.О., Сердюк А.А., Дегтярьова О.М. Глобальні супутникові системи навігації та зв'язку на транспорті. Навчальний посібник для ВУЗів транспортного профілю. Київ: Видавництво «ДажБог», 2016. 216 с.

2. Навігація. Основи визначення місцеположення та скеровування Гофманн-Велленгоф Б., Легат К., Візер М. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2016. 449 с.

3. Генике А. А., Побединский Г. Г. Глобальные спутниковые системы определения местоположения. Москва: «Картгеоцентр», 2014. 355 с.

4. Власов И. Б. Глобальные навигационные спутниковые системы: Учеб. пособие. Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2013. 182 с.

5. Соловьев Ю. А. Системы спутниковой навигации. Москва: Эко–Трендз, 2014. 270 с.