

***Дисципліна***  
***“Експлуатація і ремонт радіоелектронного***  
***обладнання літаків, вертольотів та***  
***авіаційних ракет”***

***Тема 18. “Супутникові радіонавігаційні системи”***

**Доцент кафедри**  
**кандидат технічних наук, доцент Войчук В. А.**

**Київ 2013**

# Навчальна та виховна мета

1. Ознайомити з призначенням, основними ТТХ, режимами роботи, принципами побудови, особливостями технічної експлуатації і бойового застосування супутникових радіонавігаційних систем.
2. Виховувати у студентів – майбутніх фахівців авіації Повітряних Сил ЗСУ самостійність, творчу ініціативу, наполегливість та високу відповідальність за якісну організацію технічної експлуатації та вміле бойове застосування засобів радіонавігації.

## Навчальні питання

1. Загальні відомості про супутникові системи радіонавігації.
2. Супутникова радіонавігаційна система GPS-Navstar.
3. Супутникова радіонавігаційна система ГЛОНАСС.
4. Застосування супутникових радіонавігаційних систем.

# Контрольні завдання (СРНС)

1. Проаналізуйте особливості навігаційного забезпечення польотів у високих широтах (1 бал).
2. Проаналізуйте переваги і недоліки застосування НШСЗ на геостаціонарних, середньовисотних та маловисотних орбітах (1 бал).
3. Проаналізуйте переваги і недоліки застосування НШСЗ на кругових та еліптичних орбітах (1 бал).
4. Поясніть, чому двохчастотний навігаційний сигнал забезпечує вищу точність навігаційних визначень, ніж одночастотний (1 бал).
5. Обґрунтуйте найвигідніше розташування сузір'я з 4-х НШСЗ відносно літака (1 бал).
6. Обґрунтуйте найвигідніше розташування наземного контрольного приймального пункту відносно літака (1 бал).
7. Поясніть принцип визначення місцеположення літаків супутниковими радіонавігаційними системами (1 бал).

Примітка. Мінімальна сума балів по темі для отримання позитивної оцінки – 3.0.  
Максимальна сума зарахованих балів по темі – 5.0.

# 1. Загальні відомості про супутникові системи радіонавігації

## Призначення, склад і особливості

Супутникові радіонавігаційні системи (СРНС) відносяться до класу *багатопозиційних* РНС і призначені для визначення *просторового місцеположення і вектора швидкості* споживачів у межах усієї чи більшої частини акваторії і поверхні Землі та навколоземного простору. Існують також регіональні СРНС, що обслуговують обмежені території. Для СРНС виділені частоти 960...1215 і 1535...1660 МГц, а також резервні діапазони 4200...4400, 5000...5250 і 15 400...15 700 МГц.

Основа СНС – *мережа ("сузір'я")* навігаційних штучних супутників Землі (НШСЗ), що виконують функції опорних радіонавігаційних точок. Конфігурація сузір'я і число НШСЗ вибираються з умов одержання необхідної зони дії СРНС, надлишкового числа видимих супутників у точці прийому (для вибору придатного по геометричному фактору робочого сузір'я), зручності управління системою і найменшого впливу факторів, що призводять до викривлення траєкторії руху супутників.

Висоти орбіт сучасних СРНС близько 20 тис. км (період обертання супутника ~12 год). Супутники служать джерелом навігаційних сигналів і службової інформації. У деяких системах НШСЗ використовуються як ретранслятори навігаційних сигналів.

Для постачання супутників службовою інформацією, контролю параметрів орбіт, стану апаратури НШСЗ і управління системою передбачаються наземні *командно-вимірювальні комплекси (КВК)*.

Місце розташування споживача визначається, як правило, його власною апаратурою, процесор якої дозволяє по прийнятим навігаційним сигналам кількох НШСЗ знайти місцеположення і швидкість споживача, а також визначити точний час.

Складові СРНС:

- *орбітальне угруповання (ОУ),*
- *наземний комплекс управління (НКУ),*
- *навігаційна апаратура користувачів (НАК).*

Глобальні СРНС призначені для глобальної оперативної навігації рухомих об'єктів: наземних (сухопутних, морських), повітряних і низькоорбітальних космічних. Рухомий об'єкт, оснащений навігаційною апаратурою користувача (НАК), може в *будь-якому місці* приземного простору, у *будь-який момент часу* (безупинно) при будь-якій погоді, приховано визначити (уточнити) параметри свого положення - три координати і три складові вектора швидкості.

*Навігаційні параметри СРНС - квазідальність і квазішвидкість, тому що результати їхнього виміру включають невідоме розходження  $\Delta T$  шкали часу споживача щодо системного часу. Для визначення навігаційного параметру потрібне сузір'я з чотирьох супутників (4-ий НШСЗ – для визначення  $\Delta T$ ).*

В даний час працюють дві СРНС: з 1993 р. у США - GPS - Navstar (Global Positioning System - Navigational Satellite Time and Ranging - глобальна навігаційна система - навігаційний супутник виміру часу і координат) і з 1995 р. у Росії - ГЛОНАСС (глобальна навігаційна супутникова система). Принципи побудови обох СРНС ідентичні, відрізняються технічним виконанням підсистем.

# Орбітальне угруповання

Параметри	GPS-Navstar	ГЛОНАСС
Кількість НШСЗ	24	24
Тип орбіти	Кругова	Кругова
Нахилення орбіти	55°	64,8°
Кількість орбітальних площин	6	3
Кількість НШСЗ на орбіті	4	8
Період обертання	11 год. 56.9 хв	11 год. 15.7 хв.
Висота орбіти, км	20180	19130
Зсув орбіт по довготі, град	60	120
Тип НШСЗ	Block IIA (Block II R, Block II F)	ГЛОНАСС ГЛОНАСС-М (ГЛОНАСС-К)
Маса НШСЗ на орбіті, кг	870 (1055)	1450 (700)
Потужність системи електроживлення, Вт	710 (1250)	1250
Термін активного існування, років	7 (14-15)	3-7 (10)
Потужність передавачів сигналу: L1	50 Вт	+15 дБ/Вт
L2	8 Вт	+9 дБ/Вт

# Концепція навігаційних визначень

НАК обох систем виконує *беззапитні* виміри *псевдодальності* і *радіальної псевдошвидкості* до чотирьох (трьох) НШСЗ, а також прийом і опрацювання *навігаційних повідомлень* (НП) з навігаційних радіосигналів (НРС). У НП описується становище супутника в просторі і часі.

Внаслідок опрацювання отриманих вимірів і прийнятих НП визначаються три (дві) координати споживача, три (дві) складові вектору його швидкості і здійснюється “прив'язка” шкали часу споживача до шкали координованого світового часу. НП забезпечують:

- планування сеансів навігаційних визначень,
- вибір робочого “сузір'я” НШС
- виявлення радіосигналів НШС.

Координати споживача, що визначають широту, довготу і висоту з урахуванням похибки виміру часу (четверта невідома величина), знаходяться рішенням системи з чотирьох рівнянь. Для цього треба:

- одночасно отримати сигнали від чотирьох НШСЗ,
- або послідовно отримати чотири сигнали одного НШСЗ в різних точках.

Швидкість визначається по доплерівському зсуву несучої частоти сигналів НШСЗ, який вимірюється при порівнянні частот сигналів від НШСЗ і еталонного генератора НАК.



# Орбіти НШСЗ

Геостаціонарна орбіта (ГСО) - Geosynchronous Earth Orbit (GEO) - екваторіальна кругова орбіта ( $H=35875$  км), період обертання дорівнює тривалості зоряної доби (23 год 56 хв). НШСЗ знаходяться постійно над точкою земної поверхні, розташованою на екваторі. Ресурс 15-20 років.

Переваги - *безперервний зв'язок* в глобальній зоні обслуговування, *відсутність зсуву частоти* за рахунок доплерівського ефекту.

Недоліки - сумарна затримка сигналу  $\sim 600$  мс (з урахуванням часу опрацювання і комутації в наземних мережах), що ускладнює спілкування абонентів.

Середньовисотні кругові орбіти (СВО) - Medium Earth Orbit (MEO) в діапазоні висот від 5000 до 15 000 км. Ресурс 12÷15 років.

Переваги - більш високі характеристики обслуговування абонентів завдяки збільшенню робочих кутів місця і числа НШСЗ, що знаходяться одночасно в полі зору спостерігача; прийнятна затримка при проведенні сеансів зв'язку (до 130 мс); менші втрати розповсюдження в ближній зоні (дерева, будинки і т.д.), бо хоча б один із супутників завжди знаходиться у полі зору під кутом  $\sim 25^\circ$ .

Недоліки - тривалість обслуговування  $\approx 1,5\div 2$  год. для регіону.

Низькі кругові орбіти НКО – Low Earth Orbit (LEO) - висотою від 500 до 2000 км і періодом обертання не більше 2 год. Час активного існування 5-8 років.

## Переваги - енергетика.

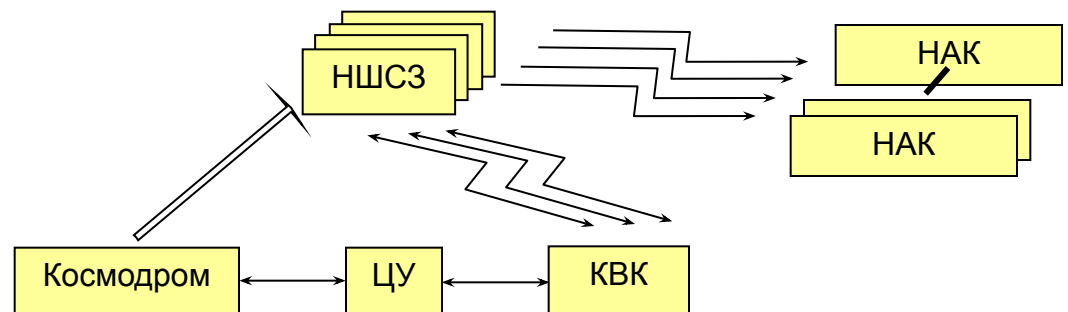
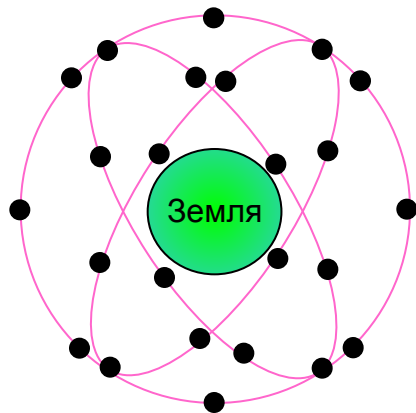
Недоліки - тривалість сеансів зв'язку 10-15 хв; на орбітах нижче 500 км висока щільність атмосфери; орбіти вище 1500 км потребують спеціальних методів захисту від радіаційного опромінювання; для глобального зв'язку треба не менше 48 НШСЗ.

Тип орбіти	GEO	MEO	LEO
Висота, км	36000	5000-15000	500-2000
Мінімальна кількість НШСЗ в угрупованні	3	8-12	48-66
Площа зони покриття для одного НШСЗ, %	34	15-25	2-5
Час перебування КА в зоні радіовидимості	Безперервно	1,5-2 год.	10-15 хв.
Затримка при передачі сигналів, мс регіональний зв'язок глобальний зв'язок	Не менше 500	80-130 250-400	20-70 170-300
Частота переключення, хв: з одного НШСЗ на інший; з одного променя на інший	Не потрібно	50	8-10 1,5-2
Мінімальний робочий кут місця, град	5°	25°	10-15°
Період обертання	23 год. 56 хв.	~6-10 год.	~2 год.
Час активного існування, років	15-25	12-15	5-8

# Принципи побудови і роботи

Супутникова система місцевизначення - це система, у якій роль опорних пунктів виконують навігаційні штучні супутники Землі (НШСЗ). Вона включає:

- космодром, що забезпечує виведення НШСЗ на потрібні орбіти;
- мережу НШСЗ (орбітального угруповання) – джерел навігаційних сигналів і ретрансляторів необхідної службової інформації;
- навігаційну апаратуру користувачів (НАК), призначену для приймання й обробки сигналів НШСЗ з метою визначення місць розташування і швидкостей руху користувачів (об'єктів);
- командно-вимірювальний комплекс (КВК) для контролю за НШСЗ, забезпечення НШСЗ і НАК службовою інформацією і для управління НШСЗ як космічними апаратами (КА);
- центр управління (ЦУ), координуючий роботу всіх елементів системи.



\*

В супутниковій системі визначення місцеположення:

– навколо Землі на середньовисотних кругових орбітах обертаються НШСЗ, утворюючи мережу опорних пунктів, координати яких розраховуються в НАК з високою точністю;

– на борту НШСЗ є атомний стандарт частоти, який забезпечує випромінювання радіонавігаційних сигналів у точно відомі моменти системного часу;

– по часу розповсюдження цих сигналів від  $j$ -го НШСЗ до користувача можна з високою точністю визначити дальність супутника;

– визначена дальність навколо  $j$ -го НШСЗ створює сферичну поверхню положення (ПП);

– точка перетину трьох одночасно отриманих ПП відносно трьох НШСЗ визначає місце розташування користувача, яке і обчислює НАК;

– по доплерівському зсуву частот прийнятих навігаційних сигналів визначається також швидкість руху користувача.

Для вимірювання часу поширення радіохвиль від  $j$ -го НШСЗ до користувача код сигналу, прийнятий від НШСЗ, порівнюється з кодом еталонного сигналу, який генерується в НАК. Часовий зсув коду визначається *по еталону часу* НАК. Це призводить до помилок у вимірюванні, через які фактично визначаються не дальності і швидкості, а *псевдодальності* і *псевдошвидкості*.

Помилка через зсув шкали часу НАК відносно системного часу однакова у всіх псевдодальностях, визначених даним НАК, тому для оцінки *трьох координат* користувача і зсуву шкали його часу необхідно здійснювати виміри як мінімум по 4-м НШСЗ.

В системі використовуються *дециметрові* хвилі і *беззапитний* метод вимірювання дальностей. Системі притаманна:

- всепогодність,
- потайність,
- необмежена пропускна спроможність.

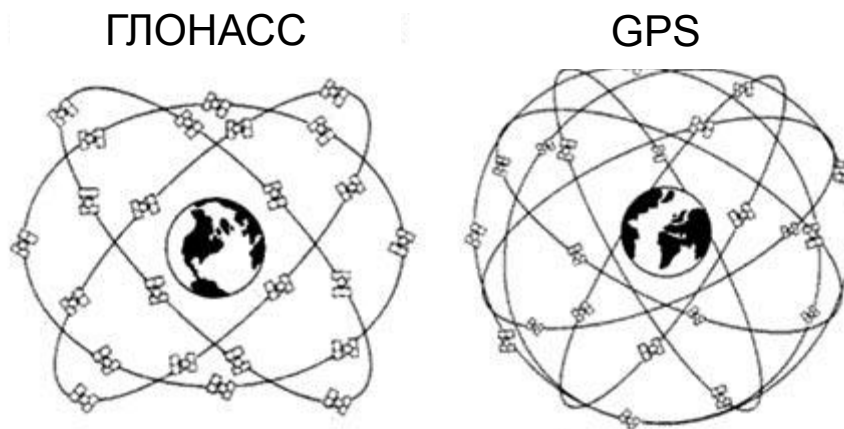
# Мережа НШСЗ

Мережа (орбітальне угруповання) забезпечує кратність покриття земної поверхні, від якої залежить точність визначення місцеположення.

Найвигідніша (реалізовано у ГЛОНАСС) конфігурація - 24 НШСЗ, рівномірно розміщених у трьох площинах, нахилених на  $63^\circ$  до екваторіальної площини і рознесених по довготі на  $120^\circ$ . В GPS-NAVSTAR 24 НШСЗ розміщені у шести площинах, нахилених на  $55^\circ$  до екваторіальної площини і рознесених по довготі на  $60^\circ$ .

НШСЗ знаходяться на кругових орбітах висотою  $\sim 20$  тис. км. Період обертання навколо Землі  $\sim 12$  годин. Кожен НШСЗ чотири рази на добу перетинає екватор.

В GPS-NAVSTAR двохвиткові сліди орбіт НШСЗ перетинають екватор зі зсувом по довготі на  $22.5^\circ$  і прив'язані до одних і тих же ділянок земної поверхні (*синхронні орбіти*). В ГЛОНАСС орбіти *несинхронні*, тобто їх сліди багатовиткові і не прив'язані до земної поверхні, завдяки чому зменшено вплив дестабілізуючих факторів на точність вимірювань.



На НШСЗ встановлено: засоби просторової стабілізації; апаратура траєкторних вимірювань; радіотелеметрична апаратура; апаратура програмного і командного управління; атомний стандарт частоти; бортова ЕОМ; системи енергоживлення і терморегулювання.

НШСЗ випромінюють шумоподібні сигнали однакової структури, які використовуються для вимірювання псевдодальностей і псевдошвидкостей. Індивідуальним для кожного НШСЗ є зміст службової інформації.

Зміст службової інформації: частотні і часові поправки; атмосферні поправки; дані для короткострокового (у межах години) прогнозу траєкторії НШСЗ; телеметрична інформація про стан систем НШСЗ і т. ін. Частина цієї інформації надходить в НАК від КВК через НШСЗ як через ретранслятор.

В системі реалізується беззапитний (пасивний) метод вимірювання псевдодальностей до кількох НШСЗ. Узгодження часових шкал НШСЗ досягається їх щодобовою синхронізацією із шкалою наземного атомного (водневого) стандарту частоти – головного синхронізатора системи. Його відносна добова нестабільність  $10^{-14}$  –  $10^{-15}$ . У бортових атомних стандартів нестабільність складає:  $10^{-12}$  - у рубідієвих,  $10^{-13}$  - у цезієвих.

# Наземний КВК

Склад КВК: головний синхронізатор системи, прийомовимірювач, траєкторний і радіотелеметричний вимірювально-обчислювальні комплекси, атмосферна служба, командні радіоканали, вузли і лінії зв'язку.

Траєкторні і телеметричні станції, вузли зв'язку розташовані на контрольно-вимірювальних пунктах (КВП), розосереджених на великій території: в СНД – від західних до східних границь, у США – від Аляски і Каліфорнії до Гаваїв і острова Гуам.

Задачі КВК:

- *траєкторні вимірювання* для визначення параметрів орбіт усіх НШСЗ;
- *часові вимірювання* для визначення зсуву шкал НШСЗ відносно системного часу;
- *прогнозування руху* НШСЗ і зсуву бортового часу;
- *формування службової інформації* з включенням в неї ефемерид (тобто відомостей про координати, швидкості, прискорення руху НШСЗ чи про кеплерові елементи орбіти: ексцентриситет, велику піввісь, нахилення орбіти й ін.), альманаху, часових, атмосферних і інших поправок для кожного НШСЗ;
- *внесення службової інформації в пам'ять* кожного НШСЗ для модуляції його радіонавігаційних сигналів;
- *контроль роботи* всіх НШСЗ і діагностика їх стану;
- *управління по командному каналу* польотом усіх НШСЗ і роботою їх бортових систем.



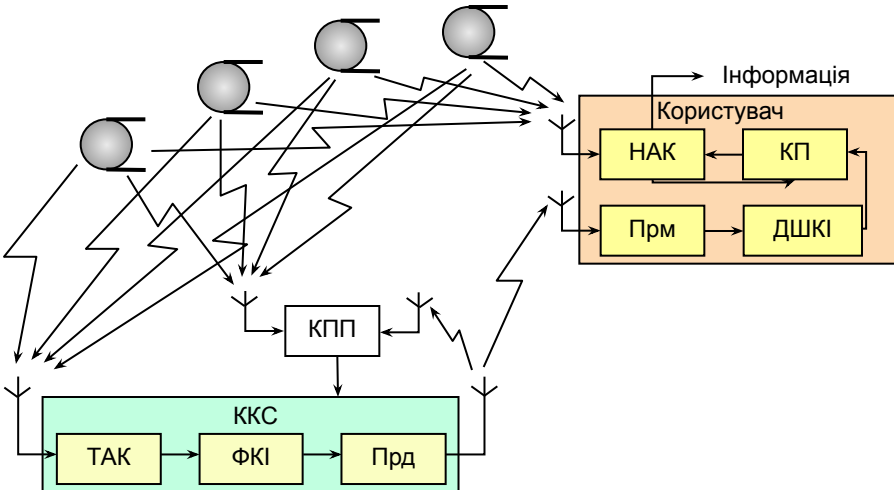
## Диференційний режим

Окремі моделі НАК можуть здійснювати «диференційне вимірювання» з підвищеною точністю. Для цього робляться *навігаційні визначення двічі через невеликий проміжок часу*. При цьому помилки вимірювання зменшуються, бо фактори, що впливають на точність (відхилення від розрахункової орбіти, неоднорідність атмосфери на ін,), частково взаємно компенсуються.

Деякі супутникові системи видають додаткову уточнюючу інформацію («диференційну поправку до координат»). Ця поправка визначається за допомогою незалежних геостаціонарних супутникових навігаційних систем або додаткових наземних станцій.

По стану на 2009 р діють безкоштовні геостаціонарні супутникові системи - американська система [WAAS](#) По стану на 2009 р діють безкоштовні геостаціонарні супутникові системи - американська система WAAS, європейська [EGNOS](#) По стану на 2009 р діють безкоштовні геостаціонарні супутникові системи - американська система WAAS, європейська EGNOS, японська [MSAS](#). Завдяки корегуючій інформації від них помилки зменшуються до 30 см.

Диференційний режим роботи може реалізовуватись і шляхом застосування *додаткових наземних станцій*.



- ТАК – точна апаратура користувача
- НАК – навігаційна апаратура користувача
- ДШКІ – дешифратор корегуючої інформації
- КП – коректор параметрів
- ККС – контрольно-корегуюча станція
- ФКІ – формувач корегуючої інформації
- КПП – контрольний приймальний пункт

Сутність диференційного режиму роботи в тому, що навігаційні визначення по НШСЗ сузір'я одночасно здійснюються *навігаційною апаратурою користувача (НАК) і точною апаратурою (ТАК) контрольно-корегуючої станції (ККС) з відомими координатами.*

ККС визначає поправки до псевдодальностей по сигналам усіх НШСЗ, що перебувають над радіобриєм. Шляхом порівняння дійсних координат ККС з отриманими по навігаційним сигналам кожного з цих НШСЗ формується *корегуюча інформація, яка по окремому радіоканалу передається користувачу.*

НАК вибирає оптимальне робоче сузір'я або переходить в зону обслуговування іншої ККС. Апаратура користувача по інформації від ККС вносить відповідні поправки у псевдодальності, визначені за допомогою стандартної НАК.

Для оцінки якості корегуючої інформації в зоні дії передавача ККС розміщується “псевдосупутник” - контрольний приймальний пункт (КПП) з відомими координатами. Отримана там інформація про якість корегування невідкладно доводиться користувачам через ККС.

Корегуюча інформація передається:

- сухопутним користувачам – поверхневою хвилею середньохвильового каналу,
- морським користувачам – по каналу супутникового зв'язку,
- повітряним користувачам — по УКХ-каналі в межах прямої видимості.

Корегуючу інформацію достатньо передавати один раз у декілька хвилин, а для компенсації помилок у режимі S/A (стандартної точності) - кожні 10 с.

Застосування диференційного режиму забезпечує підвищення точності на відстанях до 300 ... 500 км від ККС.

В деяких районах відстань між сусідніми ККС складає 25 ... 50 км. Це дає можливість додатково підвищити точність корекції або істотно розширити зону підвищеної точності визначення місцевизначення шляхом сумісної обробки надмірної корегуючої інформації. Виграш у точності стає помітним на відстанях, що перевищують 200 км до найближчої ККС, і зростає до відстаней 1000 км, з якої починається деградація корегуючої інформації.

# Супутникові навігаційні системи GPS-Navstar (США) і ГЛОНАСС (РФ)

GPS	ГЛОНАСС
Кожний НШСЗ постійно випромінює шумоподібні безперервні НРС	
<p>На двох несучих частотах (верхній і нижній)  <math>L1</math>: 1575,42 МГц;  <math>L2</math>: 1227,6 МГц                      с кодовим поділом НРС</p>	<p>У двох діапазонах частот -                      верхньому <math>L1</math>: 1600 МГц (1602,5 - 1605) МГц                      (у НШСЗ ГЛОНАСС-М: 1598 - 1605 МГц) і                      нижньому <math>L2</math>: 1250 МГц (1246,4 - 1256,5) МГц                      с частотним поділом НРС</p>
<p>НРС на верхній несучій (GPS) і верхнього діапазону (ГЛОНАСС) - двокомпонентний, містить два ФМ НРС “у квадратурі” (зсув по фазі на <math>\pm 90^\circ</math>): вузькосмуговий (ВС) і широкосмуговий (ШС). ВС і ШС НРС утворюються аналогічно шляхом протифазної ФМ несучого коливання періодичною двійковою псевдовипадковою послідовністю (ПВП-1) для ВС, і ПВП-2 для ШС із тактовою частотою:</p>	
<p>ВС: <math>F_1 = 1,023</math> МГц                      ШС: <math>F_2 = 10,23</math> МГц</p>	<p>ВС: <math>F_1 = 0,511</math> МГц                      ШС: <math>F_2 = 5,11</math> МГц</p>
<p>і з періодом повторення <math>T_1 = 1</math>мс. Шляхом інвертування ПВП-1 (для ВС) і ПВП-2 (для ШС) передаються двійкові символи цифрової інформації (ЦІ) тривалістю 20 мс кожний.                      НРС на нижній несучій (GPS) <math>L2</math> і нижнього діапазону ГЛОНАСС <math>L2</math> – однокомпонентні. ШС не несуть ЦІ.                      ШС НРС високої точності обох систем призначені для використання санкціонованими споживачами і мають захист від несанкціонованого використання: точний військовий код, що несе високоточну інформацію і захищається криптографічним методом (індекс Y), випромінюється тільки на <math>L2</math>.</p>	

ВС НРС обох систем навігаційні сигнали стандартної точності відкриті і призначені для цивільних споживачів

ВС НРС GPS штучно спотворюються, погіршуючи точність навігації для нелегальних споживачів

У ВС НРС ГЛОНАСС не використовується режим навмисного погіршення характеристик сигналу стандартної точності

### Структура навігаційного повідомлення

Передане в НРС навігаційне повідомлення (НП) призначене для проведення навігаційною апаратурою користувача (НАК) навігаційних визначень, прив'язки до точного часу і для планування сеансів навігації. НП містить оперативну і неоперативну інформацію. НП передається потоком цифрової інформації (ЦІ), що структурно формується у вигляді *суперкадрів*, що періодично повторюються.

ВС НРС  
Суперкадр (12,5 хв) - 25 кадрів  
Кадр (30 с) – 5 рядків  
Рядок (6 с)

ВС НРС  
Суперкадр (2.5 хв) – 5 кадрів  
Кадр (30 с) – 15 рядків  
Рядок (2 с)

У межах кожного суперкадру передається повний обсяг неоперативної інформації (*альманах*) для усіх НШСЗ. Альманах необхідний у НАК для планування сеансу навігації (вибір оптимального сузір'я НШСЗ) і для прийому НРС у сеансі (прогноз доплерівського зсуву несучої частоти).

ВС НРС ГЛОНАСС забезпечують більш оперативний прийом (поновлення) альманаху за рахунок більш короткого (2,5хв) суперкадру.

У межах кожного кадру передається повний обсяг оперативної для даного НШСЗ і частина неоперативної ЦІ.

# 2. Супутникова РНС GPS-Navstar

## Загальні відомості про GPS-Navstar

В супутниковій системі глобальної навігації GPS-Navstar (Global Positioning System – Navigational Satellite Time and Ranging, глобальна навігаційна система – навігаційний супутник часу і координат) опорні точки розміщені на супутниках, а орбіти і супутники на орбітах розміщені так, що забезпечують можливість проводити навігаційні визначення в будь-якій точці і розрахувати три координати користувача, точний світовий час і три складові швидкості користувача.

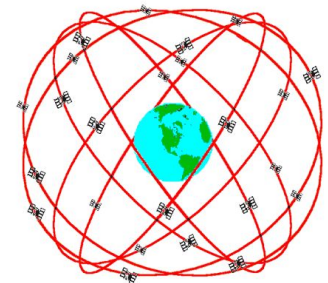
Для отримання необхідної інформації обробляються сигнали 4-х супутників одночасно або одного супутника в 4-х різних точках його орбіти.

GPS включає три компоненти:

- орбітальне угруповання космічних апаратів;
- наземний комплекс управління і контролю;
- навігаційна апаратура користувачів.

На кожній з 6 орбіт по 4 супутника. З 24-х супутників системи 3 резервні, які знаходяться на 1, 3 і 5 орбітах. Висота орбіти 20 183 км км.

Кожна з орбіт відхилена від площини екватора на  $55^\circ$ , а всі 6 орбіт в азимутальній площині розташовані рівномірно через кожні  $60^\circ$ . Період обертання супутника навколо Землі 11 годин 55 хвилин 56,6 с. Це і забезпечує можливість глобальної навігації.



## Кодування повідомлень

Кожен супутник застосовує два коди: *загальнодоступний грубий C/A* (Coarse Acgution), що легко виявляється і призначений для цивільних користувачів, та *захисний точний код P* (Precision) – для військових користувачів США і НАТО. Обидва коди передаються на загальній частоті  $f_1 = 1575.42$  МГц, але двома несучими, зсунутими по фазі на  $90^\circ$ . При використанні *P*-коду точність на порядок вища, і він може застосовуватись для наведення високоточної зброї (ВТЗ). Раніше для входження в код *P* треба було грубо визначити місцеположення в режимі *C/A*. Тепер це забезпечується іншими РНС і тому в НАК військових об'єктів режим *C/A* не передбачається.

Щоб кодом *C/A* не міг скористатися супротивник, введено режим *вибіркового доступу SA* (Service Availability). В цьому режимі навмисно вводяться помилки в навігаційні сигнали. При включенні цього режиму помилки зростають до 100...150 м.

Для виключення іоносферної помилки передбачена друга несуча  $f_2 = 1227.6$  МГц. Але модулюється вона тільки точним кодом *P*. А для виходу на цей код у службовій інформації коду *C/A* передається спеціальний ключ.

Коди *P* і *C/A* формуються з використанням протифазної маніпуляції несучих псевдовипадковим кодами тривалістю 1 мс і 0,1 мс відповідно.

Розділення сигналів різних супутників в НАК кодове. Для надійного розділення використовуються ортогональні коди.

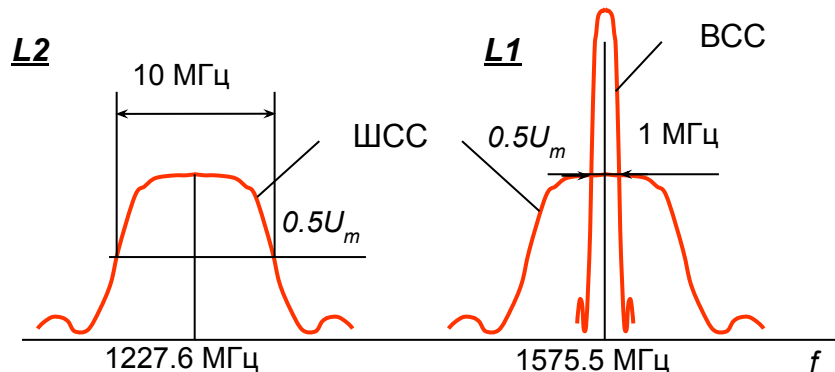
Точність вимірювання планових координат у режимі *C/A* 15 ... 20 м, висоти 30 м, швидкості 0.1 м/с; у режимі *P* точність зростає приблизно на порядок.

# Принципи побудови і роботи GPS-Navstar

Кожний супутник випромінює одночасно два сигнали:  $L1$  на частоті 1575.42 МГц і  $L2$  на частоті 1227.6 МГц.

Сигнал  $L1$  має дві складові – вузькосмуговий сигнал (ВСС) і широкосмуговий сигнал (ШСС) однакової частоти, але з фазами, які відрізняються на величину  $\pi/2$ , тобто ці два сигнали знаходяться „в квадратурі”. Ширина спектру ВСС на рівні 0.5 близько 1 МГц, а ШСС – близько 10 МГц (на нульовому рівні 2.046 і 20.46 МГц відповідно). Результуючий сигнал (ШСС+ВСС) має фазу, яка залежить від фаз і амплітуд обох сигналів. Для передачі інформації НП кодується шляхом протифазної маніпуляції ВСС і ШСС. Спектр суми двох сигналів має характерний пік.

Сигнал  $L2$  має тільки одну складову – ШСС, тому його спектр не має характерного піку.





ВСС несе всю необхідну інформацію для проведення НВ всіма користувачами із стандартною точністю. ШСС несе інформацію підвищеної точності, призначену тільки для користувачів з санкціонованим доступом до GPS (військових), яка захищена криптографічними методами.

В навігаційному радіосигналі (НРС) кожного з супутників є кодоване навігаційне повідомлення (НП), в якому, зокрема, міститься інформація про положення супутника у просторі і часі. Це дозволяє користувачу виконувати навігаційні визначення (НВ) і планувати для наступних НВ склад оптимального „сузір'я” супутників. Інформація з НП використовується для знаходження псевдодальності і псевдошвидкості.

# Структура навігаційних повідомлень

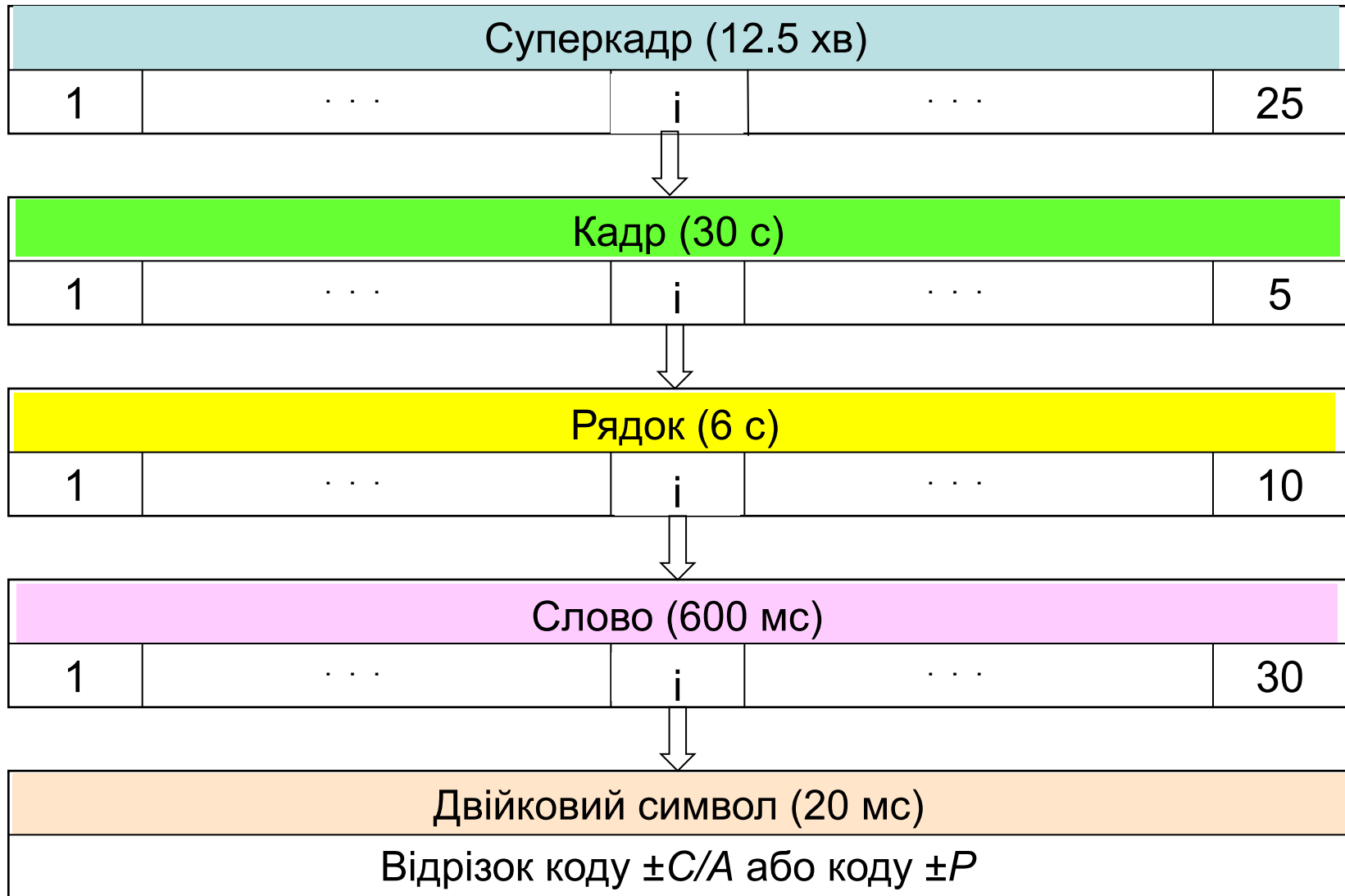
Ієрархічна структура НП включає періодичні суперкадри, на протязі кожного з них передається весь об'єм інформації всім користувачам.

В кожному з 25 кадрів суперкадру крім неоперативної інформації передається користувачу ще і повний об'єм оперативної інформації. Кожен з п'яти рядків кадру включає 10 слів цифрової інформації. В свою чергу кожне слово складається з 30 двійкових символів тривалістю по 20 мс.

Кожний двійковий символ кодується за допомогою відрізка псевдовипадкової послідовності (ПВП). Для кодування символів ВСС використовується ПВП1, а символів ШСС – ПВП2.

Ці ПВП відрізняються одна від одної тактовою частотою  $f_T$  і способом їх формування. ПВП1 може повторюватись, тоді як ПВП2 практично не повторюється. В кожній ПВП закладена інформація про супутник, що її виробив.

# Структура навігаційного повідомлення GPS



# Принцип кодування навігаційних повідомлень

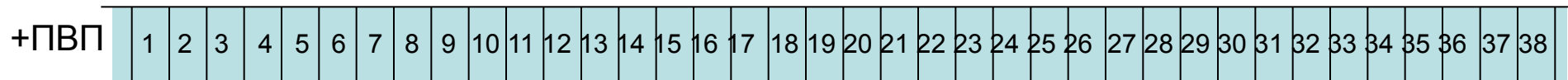
Двійкові символи інформації „0” або „1” кодуються шляхом використання частини відповідної ПВП без інверсії (+ПВП) або з інверсією (-ПВП) з тактовою частотою  $f_T$  і потрібним конкретним кодом.

*Умовні коди* для пояснення принципу кодування:

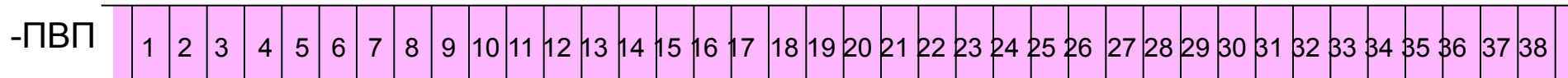
код символу „0”: +ПВП, +ПВП, -ПВП, +ПВП, -ПВП, +ПВП, +ПВП, -ПВП, -ПВП, +ПВП, -ПВП, -ПВП, -ПВП, +ПВП, +ПВП, -ПВП;

код символу „1”: -ПВП, -ПВП, +ПВП, -ПВП, +ПВП, -ПВП, -ПВП, +ПВП, +ПВП, -ПВП, +ПВП, +ПВП, -ПВП, -ПВП, +ПВП.

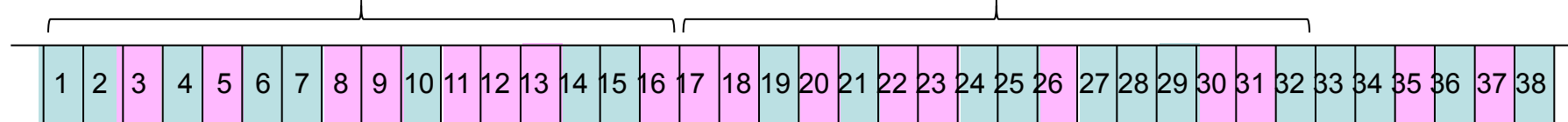
Фрагмент неінвертованої ПВП



Фрагмент інвертованої ПВП



Фрагмент коду навігаційного повідомлення  
“0” “1”



# Формування псевдовипадкової послідовності ПВП1

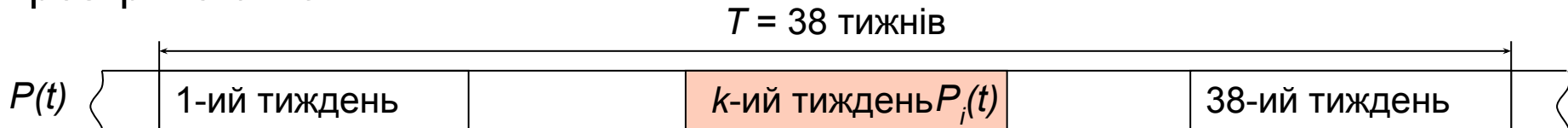
Для дальномірного коду C/A вузькосмугового сигналу використовуються послідовності  $G_1(t)$  і  $G_2(t)$ , кожна з яких формується відомим створюючим поліномом десятої степені, тобто максимальної довжини  $2^{10}=1023$  елементів. На кожному з супутників послідовність  $G_2(t)$  відносно послідовності  $G_1(t)$  зміщена на  $m_i$  елементів (тактів), де  $i$  – номер супутника. Шляхом поелементного складання по “модулю 2” послідовностей  $G_1(t)$  і  $G_2(t)$  формується ПВП1.

Відрізки ПВП1 тривалістю по 20 мс без інверсії або з інверсією створюють елементи двійкового коду інформації. Цей код відомий всім користувачам.

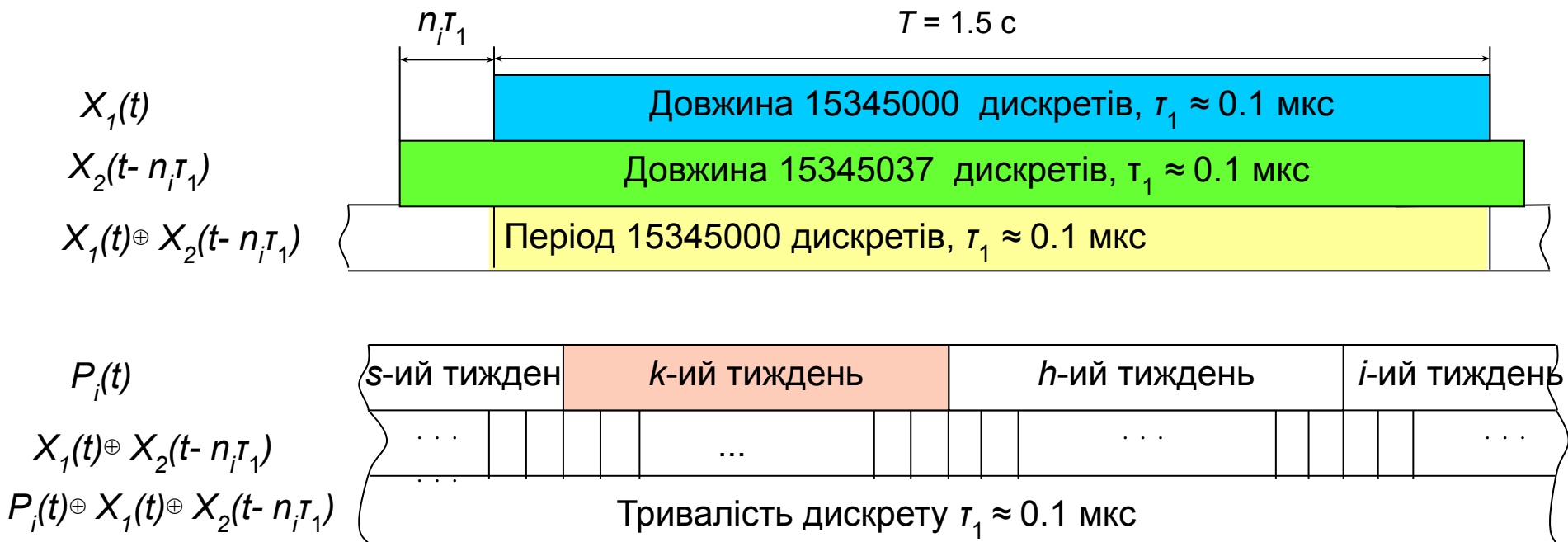


# Формування псевдовипадкової послідовності ПВП2

Для дальномірного коду  $P$  використовуються значно складніші способи формування. Перш за все створюється ПВП  $P(t)$  з періодом близько 267 діб. Спосіб її формування і характеристики не розкриваються.



Кожному з 24 супутників строком на 7 діб виділяється своя частина  $P_i(t)$  цієї ПВП. По закінченню цього строку здійснюється чергове перерозподілення частин ПВП  $P(t)$  між супутниками, тобто змінюється зміст кожної частини  $P_i(t)$ . Для формування послідовності ПВП2, кожного з супутників крім виділеної частини  $P_i(t)$  основної послідовності  $P(t)$  використовуються ще дві короткі послідовності  $X_1(t)$  та  $X_2(t)$  з числом елементів  $N_1 = 15345000$  і  $N_2 = 15345037$  тривалістю близько 1.5 с кожна. При цьому ПВП  $X_2(t)$  зміщується в часі відносно ПВП  $X_1(t)$  на  $n_i$  елементів, де  $i$  – номер супутника. Шляхом поелементного складання послідовностей  $P_i(t)$ ,  $X_1(t)$  та  $X_2(t - n_i \tau_1)$  формуються елементи ПВП2, індивідуальні для кожного супутника. Формуючі послідовності  $X_1(t)$  та  $X_2(t)$  повторюються з періодом, який дорівнює їх тривалості. Проте період ПВП2 значно більший, оскільки в її формуванні беруть участь різні частини  $P_i(t)$  основної послідовності  $P(t)$ .



Відрізки  $\pm$ ПВП2 тривалістю по 20 мс використовуються для формування символів „0” або „1” двійкової інформації навігаційних повідомлень.

Користувач інформації знає кодові ознаки кожного з супутників  $n_i$  та  $m_i$ , способи і параметри кодування двійкових символів сигналів  $L1$  і  $L2$ , характер інформації, що надходить від супутників і її розміщення в конкретних словах, рядках і кадрах. Тому він може отримати потрібну інформацію за власним вибором.

## Космічний компонент

На початку експлуатації (до 1995 р) складав 10 НШСЗ “Block I” на двох орбітах з нахилом  $63^\circ$ . Тепер компонент включає 24 досконаліші НШСЗ “Block II” і “Block IIA” з бортовими підсистемами:

- орієнтації,
- телеметрії,
- прийому команд і ретрансляції сигналів наземного комплексу,
- вироблення і трансляції навігаційної інформації,
- електроживлення і терморегулювання.

Навігаційна інформація формується з використанням бортового стандарту частоти і бортових ЕОМ – основної і двох резервних.

Без підтримки наземного компоненту супутники “Block II” і “Block IIA” забезпечують видачу навігаційної інформації з припустимими помилками впродовж 2 ... 3 діб, через 14 діб ймовірна помилка досягає 400 м.

Нові НШСЗ “Block IIR” і “Block IIF” мають автономну систему навігації і необхідна точність навігаційної інформації зберігається до 180 діб.

Потужність системи електроживлення НШСЗ 1.25 кВт.



## НШСЗ системи GPS

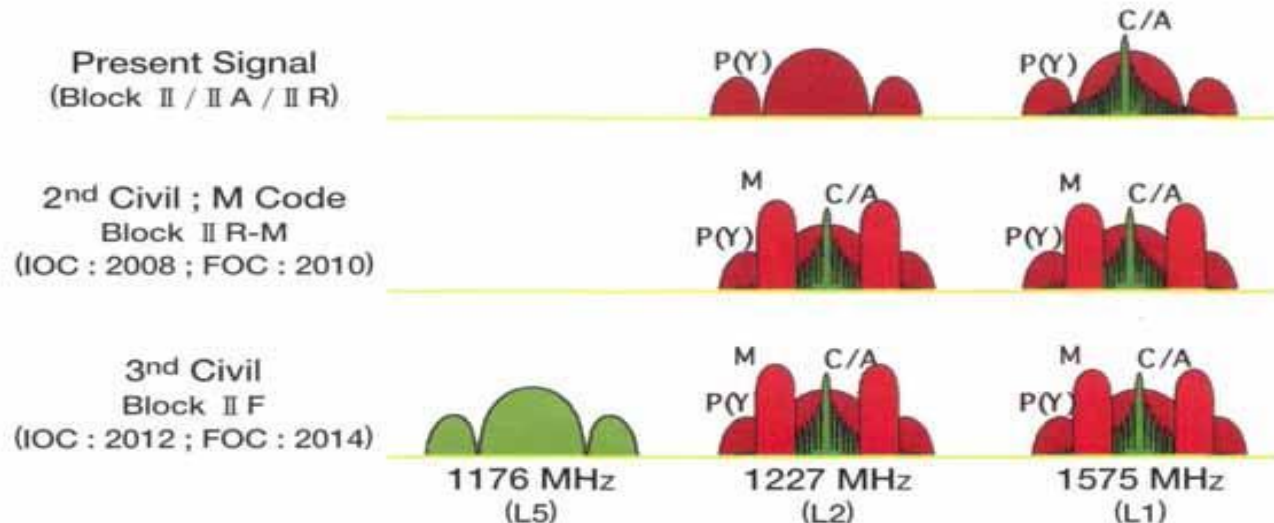
Тип супутника	Block-II	Block-IIA	Block-IIR	Block-IIRM	Block-IIF
Маса, кг	885	1500	2000	2000	2170
Строк життя	5	7.5	10	10	15
Еталон часу	Cs	Cs	Rb	Rb	Rb &Cs
Міжсупутниковий зв'язок	нема	є	є	є	є
Автономна робота, діб	14	180	180	180	більше 60
Навігаційні сигнали	L1:C/A,P L2:P	L1:C/A,P L2:P	L1:C/A,P L2:P	L1:C/A,P,M L2:C/A,P,M	L1:C/A,P,M L2:C/A,P,M L5:C
Потужність живлення, Вт	710		1250		
Рік виготовлення	1989		1997		2001

Модернізація GPS направлена на підвищення точності навігаційних визначень, покращення обслуговування користувачів, збільшення строку роботи і надійності бортової апаратури НШСЗ, покращення сумісності з іншими системами, розвиток диференційних методів.

Модернізація здійснюється також у напрямку збільшення числа робочих частот. Починаючи з Block-IIIRM передача C/A коду стандартної точності (СТ) здійснюється і на частоті  $L2$ , а на НШСЗ Block-IIF передається ще і сигнал на частоті  $L5=1176.45$  МГц.

Сигнал на частоті  $L2$  призначено для цивільних споживачів, робота яких не пов'язана із загрозою життю людей. Сигнал на частоті  $L5$  призначено для споживачів цивільної авіації.

## Modernized Signal Evolution



\*

# Навігаційне обладнання користувачів

Прийомне обладнання користувачів забезпечує отримання навігаційної інформації:

- координати, швидкість користувача,
- напрямок і дальність на чергову точку маршруту,
- технічні характеристики системи – альманах всіх супутників на орбітах; положення супутників, що відстежуються; відношення с/ш; ...

Різновиди апаратури супутникової навігації (АСН):

а) одноканальна – інформацію від кожного з супутників сузір'я приймає по черзі через 0.2 ... 2 с, великі помилки визначення місцеположення;

б) мультиплексна – спільний приймальний канал, псевдодальність до кожного супутника сузір'я вимірюється за одиниці мілісекунд, але менше відношення с/ш;

в) багатоканальна.

Тенденції розвитку:

- реалізація диференційного режиму;
- можливість роботи в різних СРНС;
- інтегрування з інерційною системою, радіовисотоміром і системою зв'язку.

Приймальна станція включає:

- антену (неадаптивну або адаптивну);
- пристрій прийому, перетворення і обробки сигналів;
- навігаційний процесор;
- пристрій відображення інформації.

Неадаптивні антени застосовуються в переносних пристроях, на вертольотах, тактичних літаках і малих кораблях. В навігаційній апаратурі користувачів (НАК) військового призначення вони забезпечують прийом сигналів  $L1$  і  $L2$ , а цивільних – тільки  $L1$ .

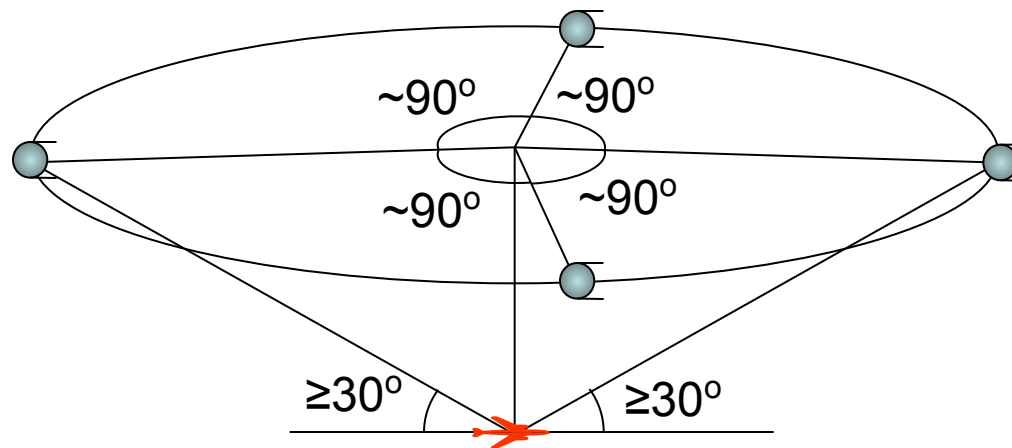
Адаптивні антени на основі двохчастотних ФАР застосовуються в більш досконалій НАК. Вони формують провал ДСА в напрямку джерела перешкод. Корисний сигнал не перевищує рівень шумів. Тому перешкодою являється сигнал, що перевищує рівень шумів.

Антени конструктивно суміщуються з підсилювачами НВЧ сигналів і навіть перетворювачами частоти.

Згідно тактичним вимогам у зоні прямої видимості повинно бути не менше 5 НШСЗ – 4 робочих і 1 резервний на випадок втрати контакту з робочим НШСЗ.

Бажано, щоб усі НШСЗ мали оптимальне розташування відносно користувача – кут підйому над горизонтом  $\geq 30^\circ$ , кути між напрямками візування супутників  $\sim 90^\circ$ .

Обробка навігаційних сигналів здійснюється з відстежуванням частоти і коду кожного з робочих НШСЗ. Для вибору оптимального сузір'я бажано відстежувати всі НШСЗ в зоні видимості.



# 3. Супутникова РНС ГЛОНАСС

## Загальні відомості про ГЛОНАСС

Глобальна супутникова навігаційна система ГЛОНАСС призначена для визначення місцеположення, швидкості руху і точного часу морських, повітряних і сухопутних об'єктів цивільного і воєнного призначення.

Орбітальне угруповання ГЛОНАСС включає 24 супутники, з них 3 резервні. НШСЗ ГЛОНАСС розміщені на 3 орбітах по 8 супутників на кожній. Висота орбіт 19 100 км, нахилення  $64.8^\circ$ , період обертання навколо Землі 11 годин 15 хвилин.

Наземний компонент включає:

- центр управління;
- станції вимірювання, управління і контролю (на території РФ);
- координаційний науково-інформаційний центр.

НШСЗ запуску 2000 р виведені з експлуатації. Зараз угруповання обслуговується обмеженою кількістю НШСЗ 2000 ... 2003 рр. запуску з ресурсом 3 роки. Тому доступність системи (сузір'я з 4 НШСЗ) обмежена: в тропічних районах  $\leq 30\%$ , над більшою частиною Росії і Північною Атлантикою – 40 ... 50%.

Російські користувачі погано оснащені НАК. Цивільні користувачі в основному застосовують імпортну НАК.

# Орбітальне угруповання

На початку 2009 р було задіяно 20 НШСЗ, що практично забезпечувало безперервну навігацію на території Росії.

Безперервна глобальна навігація забезпечується тільки повним угруповання з 24 НШСЗ.

Станом на січень 2010 р з 22 НШСЗ використовуються по призначенню 18 НШСЗ, вводиться в систему 1 НШСЗ, техобслуговування 1 НШСЗ і виводяться з системи 2 НШСЗ.

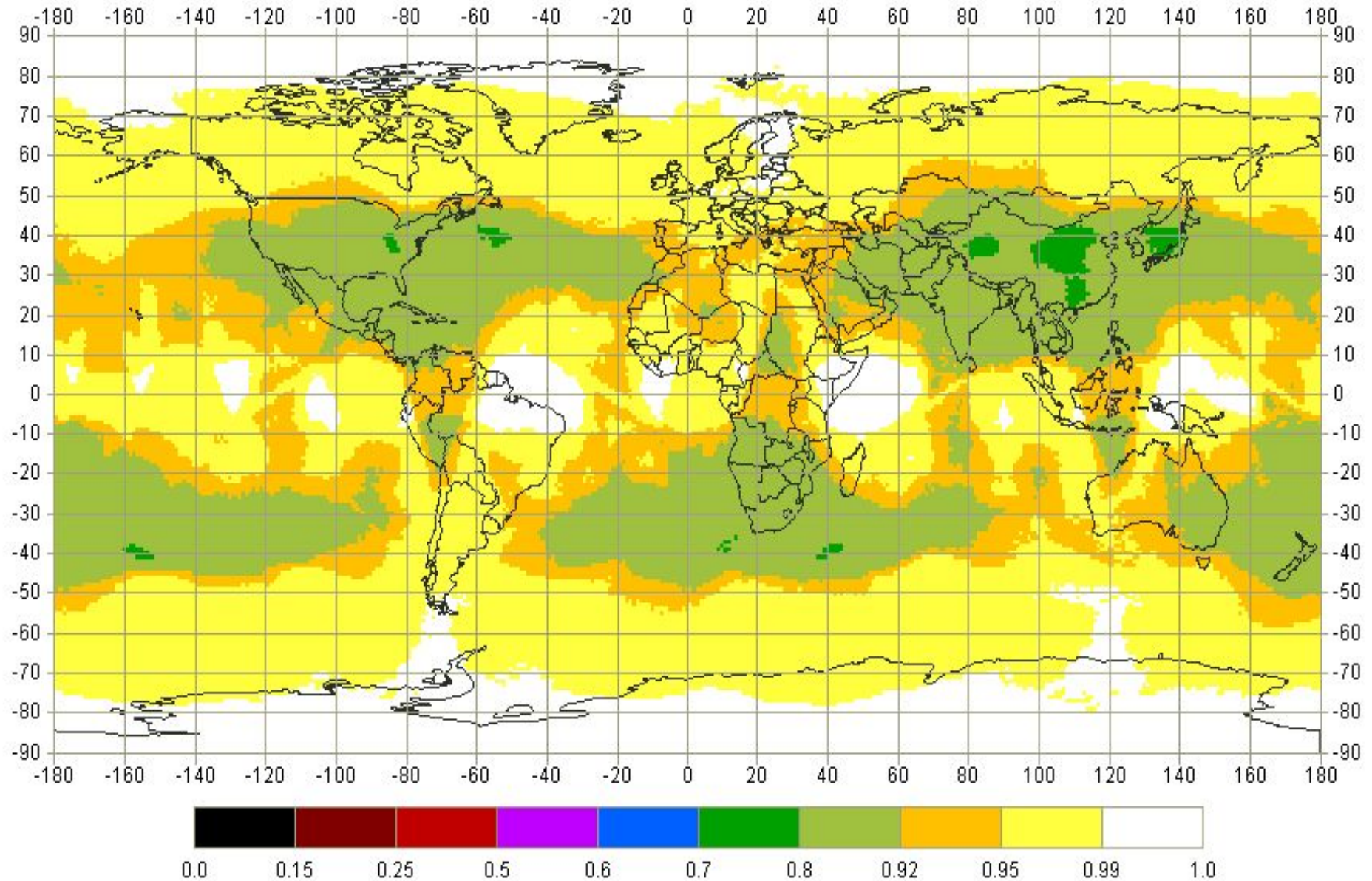
Планується довести склад угруповання до 30 НШСЗ.



Тип	ГЛОНАСС (Ураган)	ГЛОНАСС-М (Ураган-М)	ГЛОНАСС-К (Ураган-К)
Маса, кг	1415	1415	850, негеометричний
Час роботи, років	3 - 4.5	7	10 - 12
Потужність батареї, Вт	1000	1400	1270
Час експлуатації, р.	1982 - 2006	2003 - 2013	2010 - 2022
Помилки місцеположення, м	60	30	5 - 8
Число цивільних частот	1	2	3 Додаткова апаратура для спасіння

\*

# Доступність системи станом на січень 2010 р



\*



# Наземний компонент

Підсистема контролю і управління включає Центр управління системою (ЦУС) у районі Москви і мережу станцій вимірювання, управління і контролю по всій території Росії.

У районі Москви знаходяться також:

- наземний командний пункт,
- апаратура контролю шкал часу,
- апаратура контролю навігаційного поля,
- центральний синхронізатор.

Контрольно-вимірювальні пункти розміщені в районах С-Петербурга, Воркути, Єнісейська, Якутська, Улан-Уде, Уссурійська, Петропавловська-Камчатського.

Квантово-оптичні вимірювальні пункти розміщені в Уссурійську і Туркменістані.

Апаратура контролю навігаційного поля розміщена також в районі Уссурійська.



# Навігаційна апаратура користувачів

Навігаційна апаратура користувачів (НАК) включає:

- антенну систему.
- радіочастотний приймач,
- пристрій обробки навігаційних сигналів (корелятор),
- обчислювач координат, швидкості і часу.

В приймачі здійснюється фільтрація та підсилення сигналу і перетворення його в цифровий код.

В кореляторі дві квадратурні складові сигналу порівнюється з опорним дальномірним кодом.

Отримані квадратурні кореляційні інтеграли в процесорі відслідковуються каналами автопідстройки по фазі і затримці. Кореляційні інтеграли дозволяють по модулюючій функції, яка несе навігаційну інформацію, відслідкувати мітки часу (з періодичністю 6 с у GPS и 2 с у ГЛОНАСС). В межах періоду елементи дальномірного коду створюють 1-мілісекундну шкалу з кроком  $\Delta D = c \cdot 10^{-3} = 300$  м. Для точнішого вимірювання дальності визначається ще і поточний зсув фази дальномірного коду, завдяки чому помилка дискретизації визначення дальності зменшується до 3 м.

Система фазової автопідстройки частоти дозволяє виміряти доплерівський зсув прийнятого сигналу і визначити швидкість переміщення відносно НШСЗ.

Тип НАК	СН-3301	СН-3303	А-744-01	АСН-21	КЛН-90В	М3 GPS	Garmin GPS III	СМА-3012
Країна	Україна	Україна	Росія	Росія	США	США	Англія	Канада
Тип РНС	Глонасс GPS	Глонасс GPS	Глонасс GPS	Глонасс GPS	GPS	GPS	GPS	GPS
Кількість каналів	14	18	6	12	8	12	12	12
СКП $\sigma_{\text{план}}/\sigma_{\text{н}}$ , м стандартний режим/ диференційний режим	20/28 3/5	20/28 3/5	23/35 3/5				15 1...5	2,41
СКП $\sigma_v$ , м/с	0,1	0,15					0,05	0,1
Кількість рядків інформації на індикаторі	2				7	1	6	
Періодичність оновлення інформації, с	1	1				1	1	
Діапазон температур, Т°С	-20...50		-50...50		-40...70		-15...70	-55...70
Допустимі перевантаження	3g		4g				6g	
Наявність карт	+				+		+	
Загальна маса, кг	2,4	3	3,3	2	4,3		0,26...1,5	2,6
Орієнтовна ціна в тис. дол. США	5...6	4...5			11,5	6,5... 8,5	0,4...1,2	

# Помилки визначення місцеположення (м)

Джерело помилок	ГЛОНАСС		GPS-Navstar			ГЛОНАСС + GPS + Galileo
	ГЛОНАСС	ГЛОНАСС-М	GPS	GPS II RM	GPS II F	
Координатно-часове забезпечення	9.2	2.6 – 3.4	2.3	2.3	1.25	0.65 – 0.8
Іоносфера	10	-	7	-	-	-
Тропосфера	0.2 – 2.5	0.2 – 2.5	0.2–2.5	0.2 – 2.5	0.2 – 2.5	0.2 – 2.5
Апаратурні, багато променевість	5.2	4	1.6	2.1	2.1	0.57 – 2.3
Сумарна псевдодальності	14.7	4.8 – 5.8	7.5	3 – 3.9	2.5 - 3.5	0.9 – 3.5
Горизонтальна	22	7.2 – 8.7	11.2	4.5 – 5.8	3.7 – 5.2	1.4 – 5.2
Вертикальна	29.5	9.6 – 11.6	15	6 – 7.8	5 - 7	1.8 - 7

# Принципи побудови і роботи

Спосіб розділення сигналів різних супутників – частотний.

Для виключення іоносферної помилки кожен супутник випромінює радіонавігаційний сигнал на двох частотах. Номінали частот визначають за правилом:

$$f_{ij} = f_{i0} + j \cdot \Delta f_i,$$

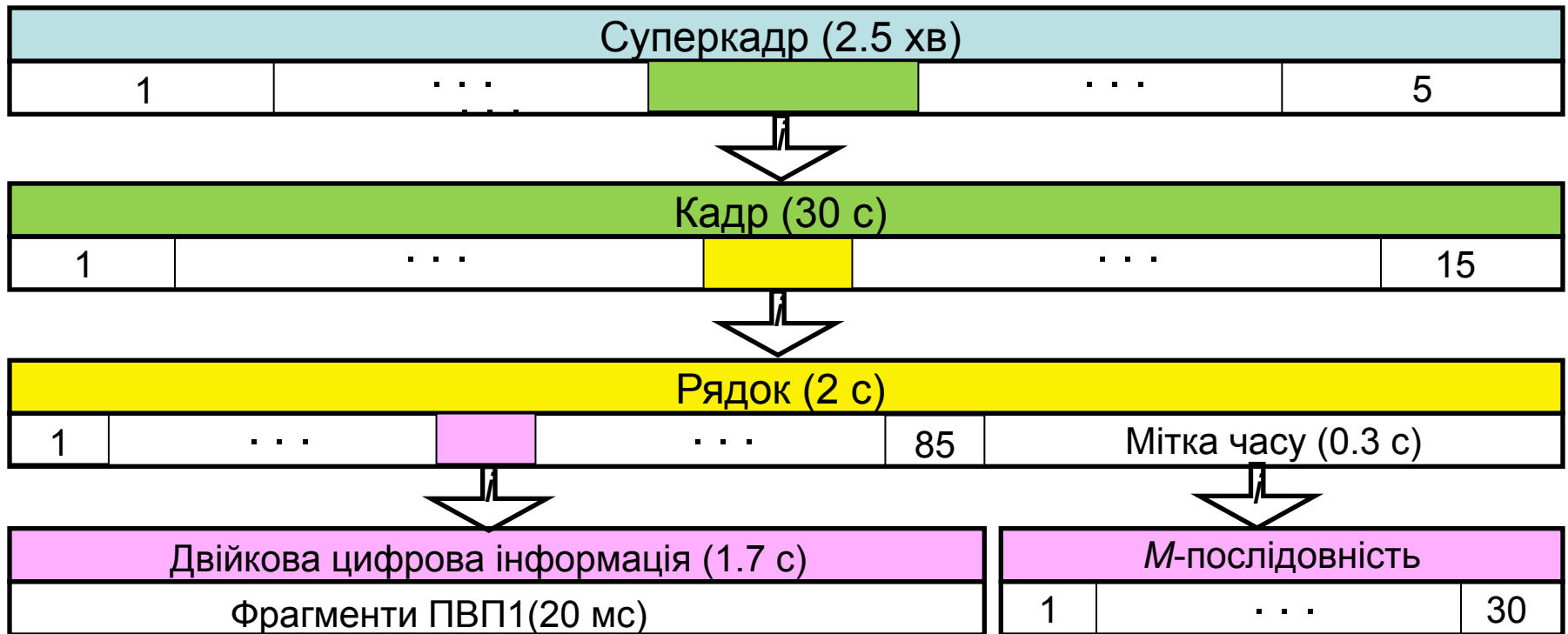
де  $j = 1, \dots, 24$  – номер супутника;  $i = 1, 2$  – номер випромінюваної супутником частоти;  $\Delta f_i$  – інтервал між літерними частотами. Для літерних частот поблизу частоти  $f_{10} = 1602$  МГц інтервал  $\Delta f_1 = 0.5625$  МГц; для літерних частот поблизу частоти  $f_{20} = 1246$  МГц інтервал  $\Delta f_2 = 0.4375$  МГц.

Сигнал несучої частоти маніпулюється по фазі дальномірним псевдовипадковим кодом, тривалість якого дорівнює 1 мс. Несуча частота, дальномірний код і елементи службової інформації формуються від загального бортового еталона частоти.

Випромінювані сигнали мають *кругову правобічну* поляризацію.

Потужність передавача  $\approx 300$  Вт, потужність сигналу в пункті прийому на всенаправлену антену становить  $-(151 \dots 161)$  дБ/Вт.

# Структура навігаційних повідомлень ГЛОНАСС



Суперкадр навігаційної інформації тривалістю 2.5 хвилин включає 5 кадрів. Впродовж суперкадру передається повний альманах інформації системи ГЛОНАСС.

Кадр навігаційної інформації тривалістю 30 с включає 15 рядків. Впродовж кожного кадру передається повний обсяг інформації відносно даного ШНСЗ і частина альманаху системи ГЛОНАСС.

Довжина рядка службової інформації 2 секунди: спочатку впродовж 1.7 с випромінюється 85 двійкових символів цифрової інформації тривалістю 20 мс кожний, а потім впродовж 0.3 с випромінюється мітка часу з 30 елементів (тривалістю 10 мс кожний) *вкороченої на один елемент 31-розрядної М-послідовності*.

Альманах ГЛОНАСС включає:

- час, до якого відноситься альманах,
- параметри орбіт, номери пар робочих частот і поправки до шкал часу кожного з НШСЗ системи,
- поправку до шкали часу системи ГЛОНАСС відносно шкали часу країни.

Кадр даного НШСЗ містить оперативну інформацію:

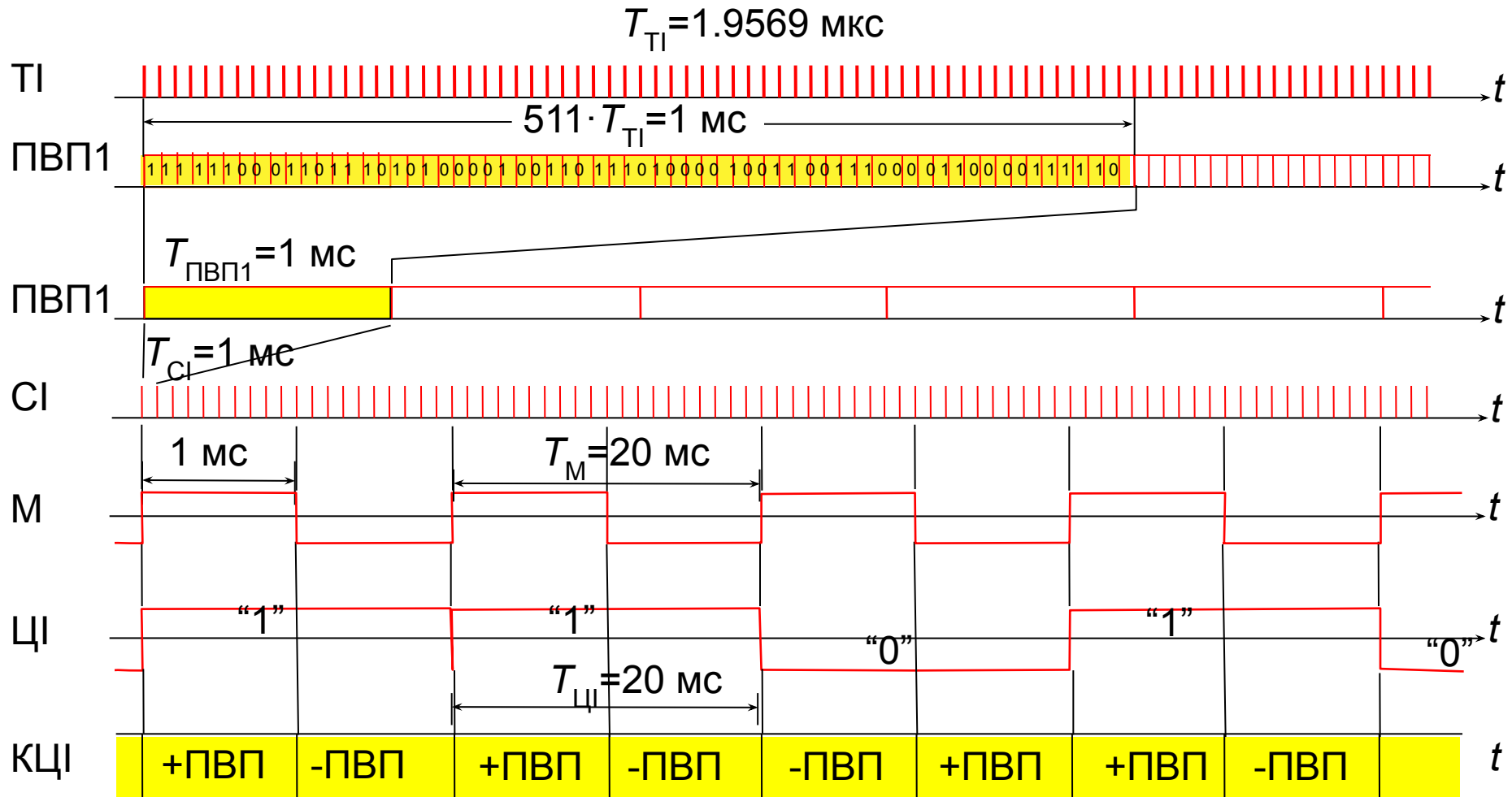
- час початку кадру,
- ефемеридну інформація (координати, швидкість і прискорення НШСЗ) в Гринвічській прямокутній системі координат на момент часу  $t_0$ ,
- ознаку достовірності інформації,
- частотно-часові поправки до робочої частоти і шкали часу НШСЗ на момент часу  $t_0$ ,
- час  $t_0$  (через кожні 30 хв з початку доби), до якого прив'язана ефемеридна інформація і частотно-часові поправки.

Цифрова інформація описує:

- положення даного супутника у просторі і часі (ефемериду) у геоцентричній зв'язаній системі координат;
- положення інших супутників (альманах) у вигляді кеплерівських параметрів їх орбіт (ексцентриситет, велику піввісь, нахилення орбіти й ін.);
- іншу інформацію.

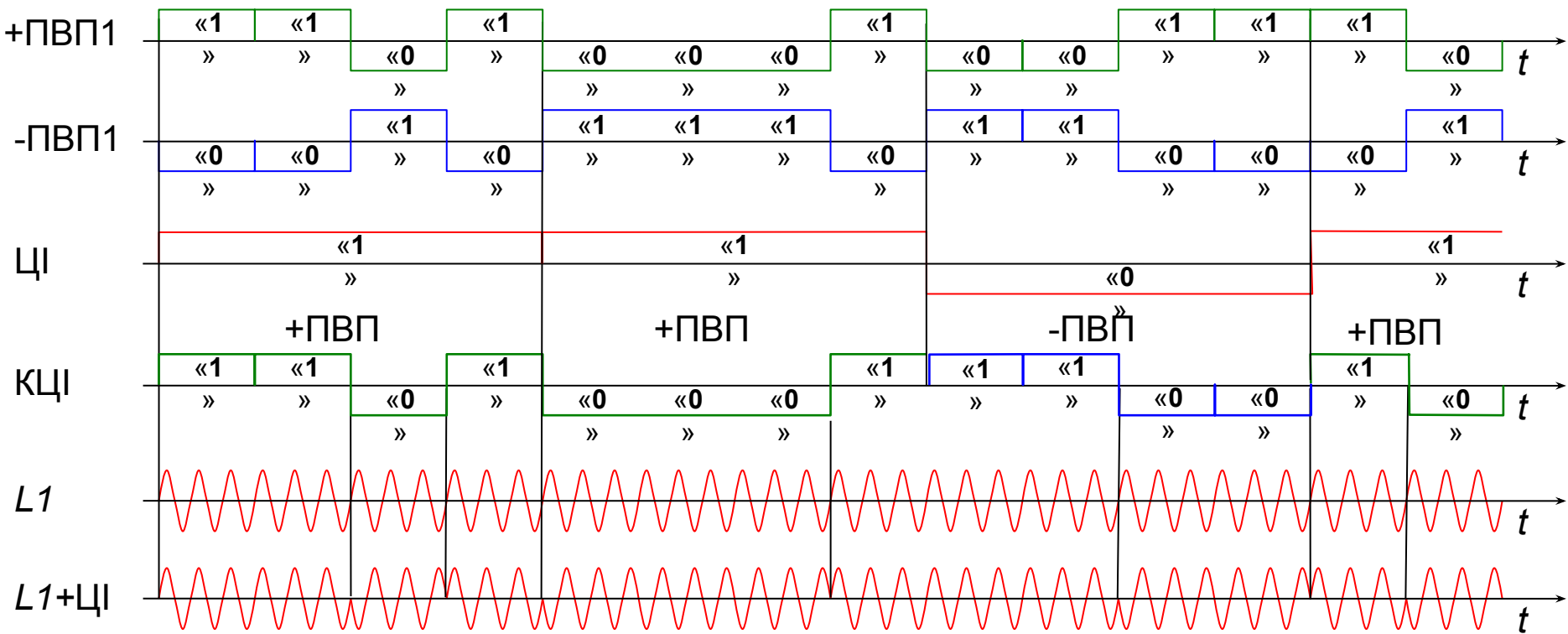


# Формування кодів дальномірного (ПВП1) і цифрової інформації (КЦІ)



“+ПВП” і “-ПВП” – це неінвертовані та інвертовані фрагменти періодичної послідовності ПВП1

# Формування навігаційного сигналу L1



Код цифрової інформації складається з фрагментів неінвертованої (+ПВП1) або інвертованої (-ПВП1) дальномірної послідовності ПВП. Навігаційний сигнал частоти L1 маніпулюється у протифазі кодом цифрової інформації (КЦІ).

# Програма розвитку ГЛОНАСС

## 1 етап (до 2003 р).

Підтримання системи на мінімально допустимому рівні запусками НШСЗ ГЛОНАСС. Модернізація інформаційного забезпечення. Модернізація управління системою. Розробка НШСЗ ГЛОНАСС-М нового покоління з ресурсом 7 р.

## 2 етап (до 2005 р).

Створення угруповання з 18 ГЛОНАСС-М. Зміна частотного діапазону навігаційних сигналів для забезпечення ЕМС з засобами радіоастрономії і рухомими супутниковими службами та введення другої частоти для цивільних споживачів. Модернізація наземної інфраструктури. Використання міжсупутникових вимірювань. Підвищення точності в 2 ... 2.5 разів.

## 3 етап (до 2010 р).

Перехід до угруповання з 24 НШСЗ ГЛОНАСС-К з ресурсом 10 р. Розширення міжсупутникового обміну інформацією для збереження цілосності системи. Розширення вирішуваних задач.

Оснащення користувачів багатоканальною НАК, сумісною з ГЛОНАСС, GPS і Galileo (Європа) та здібною обробляти сумарне навігаційне поле всіх систем.

Точність визначення координат користувача залежить від числа використаних НШСЗ і геометрії їх розташування відносно користувача. При роботі по мінімуму НШСЗ середньоквадратичні помилки визначення планових координат 15 ... 25 м, висоти 30 м, швидкості 0.1 м/с.

До останнього часу гарантійний термін роботи космічних апаратів складав 3...4 роки. Це вимагало частого поповнення орбітального угруповання НШСЗ. Однак через недостатнє фінансування Росія в останні роки цього не робила. Тому в 2000 р. на орбітах залишалось усього 7 навігаційних супутників.

Для розвитку наземної інфраструктури і відновлення орбітального угруповання Росія виділила у 2001 р. \$1 млрд. Завдяки цьому у 2001 р. кількість супутників на орбітах зросла до 9, у 2002 р. – до 13, у 2005 р. - до 18, у 2007 р. – до 24 (план). Гарантійний термін роботи нових супутників збільшується до 7...10 років, точність місцевизначення – до одиниць метрів. Крім того, у Санкт-Петербурзі розпочалось серійне виготовлення апаратури користувача на лінії з виробничою потужністю 20 000 примірників у рік.

# Перспективні Європейські СРНС

## СРНС EGNOS

EGNOS (European Geostationari Navigation Overlay Strvices) – це проект Європейської глобальної навігаційної орбітальної системи для цивільних користувачів. У ній, як і в американській системі WAAS та японській системі MSAS, реалізується ідея сумісної обробки даних від супутників *GPS*, що перебувають на середньовисотних кругових орбітах, і даних від *двох навігаційно-зв'язкового супутників на геостаціонарних орбітах*. На борту цього супутника, крім навігаційної апаратури, передбачено встановити ретранслятор для передачі даних на апаратуру користувачів від власних земних контрольних-корегуючих станцій. Крім того, буде використовуватись власна система станцій траєкторного контролю супутників. Очікувана точність місцевизначення користувачів – кілька метрів. Планувалось ввести систему в експлуатацію у 2004 році.

По стану на 2009 р функціонують безкоштовні супутникові радіонавігаційні системи WAAS у США, EGNOS в Європі, MSAS в Японії. В цих системах за допомогою кількох супутників на геостаціонарних орбітах випромінюються корегуючі сигнали, які дозволяють підвищити точність навігаційних визначень до 30 см.

GALILEO – цивільна комерційна супутникова РНС. Планується на трьох кругових орбітах з нахилом  $56^\circ$  висотою 23616 км розмістити 30 навігаційних супутників. У наземний сегмент увійде 30 станцій управління і контролю. GALILEO дасть можливість користувачам з допомогою малогабаритної і порівняно дешевої апаратури визначати своє місцезнаходження на планеті з точністю 4 м.

У системі передбачаються три режими роботи: *відкритого доступу* (з такою самою точністю, як у GPS); *платного доступу*; *платного доступу для особливо важливих застосувань*, як наприклад, в системі управління повітряним рухом.

В режимі відкритого доступу OS (Open Service) радіонавігаційний сигнал передається у *двох смугах* частот (1164-1214 МГц і 1563-1591 МГц). В разі одночасного використання сигналів обох частот навігаційні помилки не перевищують 4 м.

В режимі CS (Commercial Service) радіонавігаційний сигнал передається ще й у *третьій смузі* частот (1260-1300 МГц). Точність позиціювання може досягати 10 см.

Очікується, що система буде повністю розгорнута у 2013 р, коли на орбіті буде 30 супутників (27 операційних і 3 резервних).

# Питання для самоконтролю

1. Призначення і склад супутникової навігаційної системи.
2. Принцип дії супутникової навігаційної системи.
3. Сутність диференційного режиму роботи супутникової навігаційної системи.
4. Супутникова радіонавігаційна система GPS-Navstar.
5. Супутникова радіонавігаційна система ГЛОНАСС.
6. Перспективи розвитку супутникових радіонавігаційних систем.

# Завдання на самостійну роботу

1. Конспект по темі заняття доповнити матеріалом з навчального посібника і підручників.
2. Презентації СРНС.ppt, РСБН.ppt, РСДН. ppt.
3. О.В.Власов, И.В.Смокин. Радиооборудование летательных аппаратов. – М.: Воениздат, 1971, с. 306-313.
4. В.А.Войчук та ін.. Бортові радіоелектронні системи. Ч.1. – К.: НАУ, 2006, с. 95-100.
5. В.А.Войчук, В.І.Романенко, Д.В.Васягін. Експлуатація й ремонт радіоелектронного обладнання літаків, вертольотів та авіаційних ракет. (Електронний підручник). – К.: НАУ, 2011, тема 18.