

Назначение глобальных систем спутникового позиционирования (ГССП) и их предшественники

ГССП предназначены для определения пространственных координат (позиционирование) и скорости объектов на поверхности Земли, в околоземном воздушном и космическом пространстве, а также обеспечения пользователей сигналами системного времени, привязанного к международным временным шкалам.

Предшественники современных ГССП:

- радиодальномерные навигационные системы HIRAN, DEKKA (развивались во время Второй мировой войны для нужд ВВС);
- ГССП 1-го поколения NNSS “Transit” (USA, введена в эксплуатацию в 1964 г., открыта для гражданского использования в 1967 г.), “Цикада” (СССР, введена в эксплуатацию в 1979 г.).

Современные глобальные системы спутникового позиционирования (ГССП 2-го поколения)



ГЛОНАСС

(Глобальная Навигационная Система)

Разработка системы начата в середине 1970-х.

Развертывание начато в 1982 г.

Принята в эксплуатацию в 1993 г.

Открыта для гражданского использования в 1995 г.



GPS или NAVSTAR

(Система Глобального Позиционирования или Навигационная Система определения Времени и Расстояния)

Разработка системы начата в 1973 году.

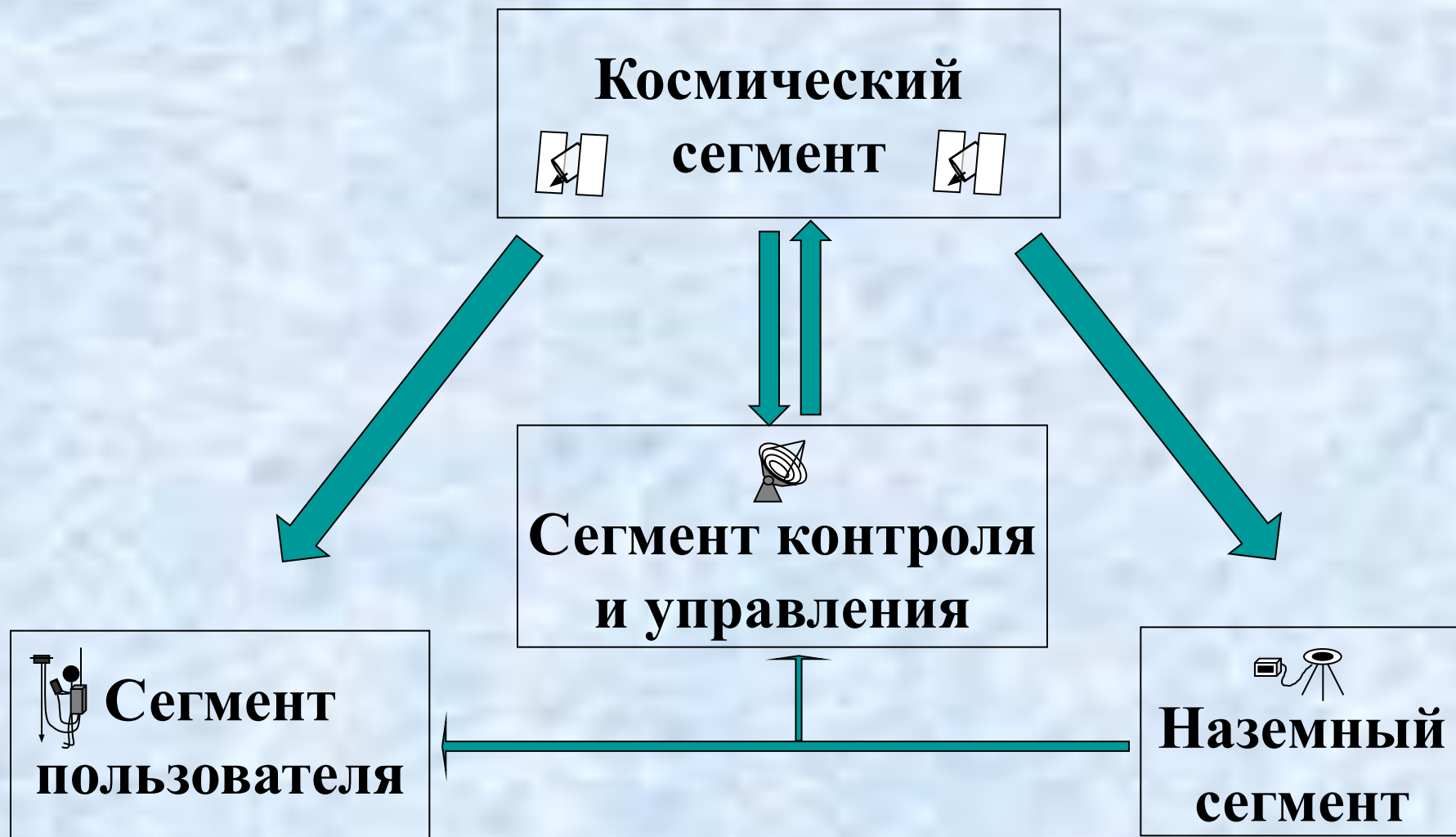
Развертывание начато в 1978 г.

Принята в эксплуатацию в 1995 г.

О текущем состоянии орбитальной группировки GPS и ГЛОНАСС можно узнать на сайтах:

<http://www.glonass-ianc.rsa..ru>

Общая структура ГССП GPS и ГЛОНАСС



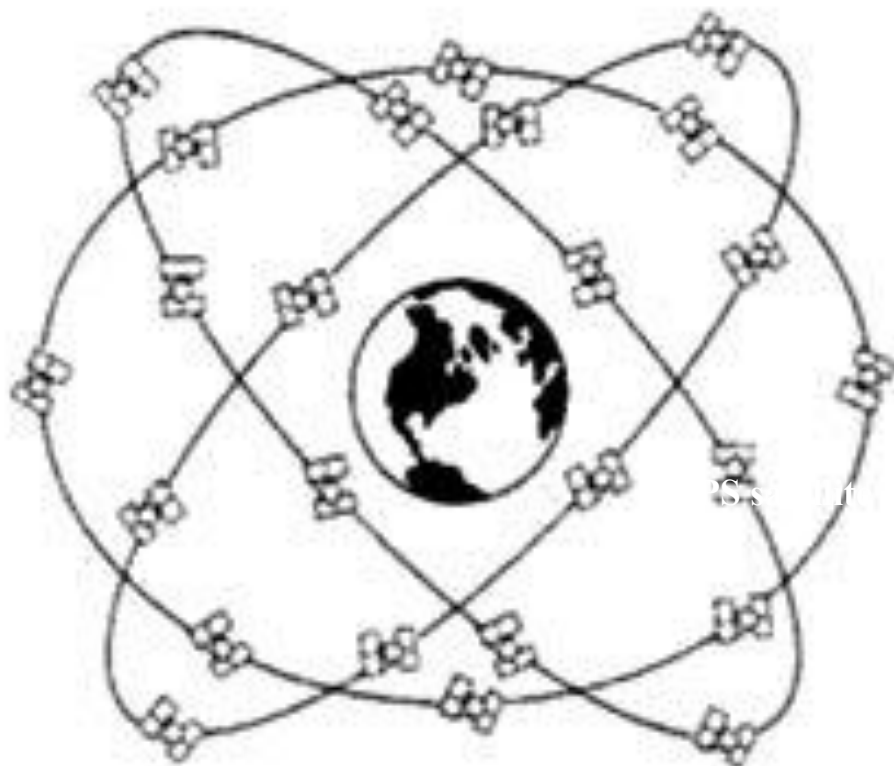
Космический сегмент систем GPS и ГЛОНАСС

| Параметр | ГЛОНАСС | GPS |
|-----------------------------------|---|---|
| Число ИСЗ в системе | 24* (3 в запасе) | 24* (4 в запасе) |
| Число орбитальных плоскостей | 3 | 6 |
| Наклон орбиты | 64.8° | 55° |
| Период обращения ИСЗ | 11 ^h 15 ^m 44 ^s | 11 ^h 58 ^m 00 ^s |
| Высота ИСЗ над поверхностью Земли | 19100 км | 20150 км |
| Система координат | ПЗ-90 | WGS-84 |
| Срок активного существования | 3 года | 7.5 лет |

* в настоящее время активны 30 GPS SV's и 17 ГЛОНАСС SV's

Космический сегмент систем GPS и ГЛОНАСС

Подсистема космических аппаратов ГЛОНАСС



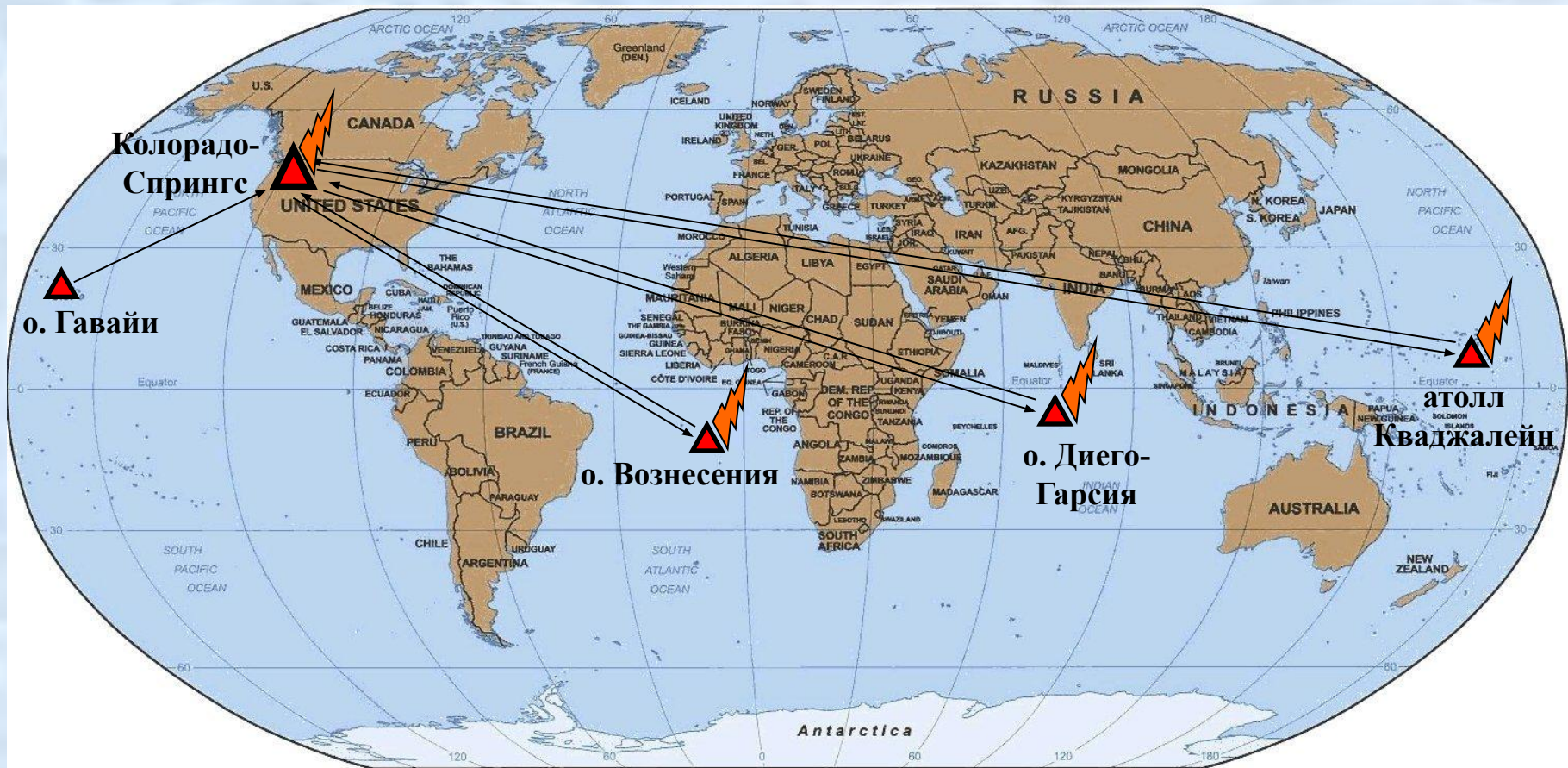
Подсистема космических аппаратов GPS



Космический сегмент систем GPS и ГЛОНАСС



Сегмент контроля и управления системой GPS



Сегмент контроля и управления системой ГЛОНАСС

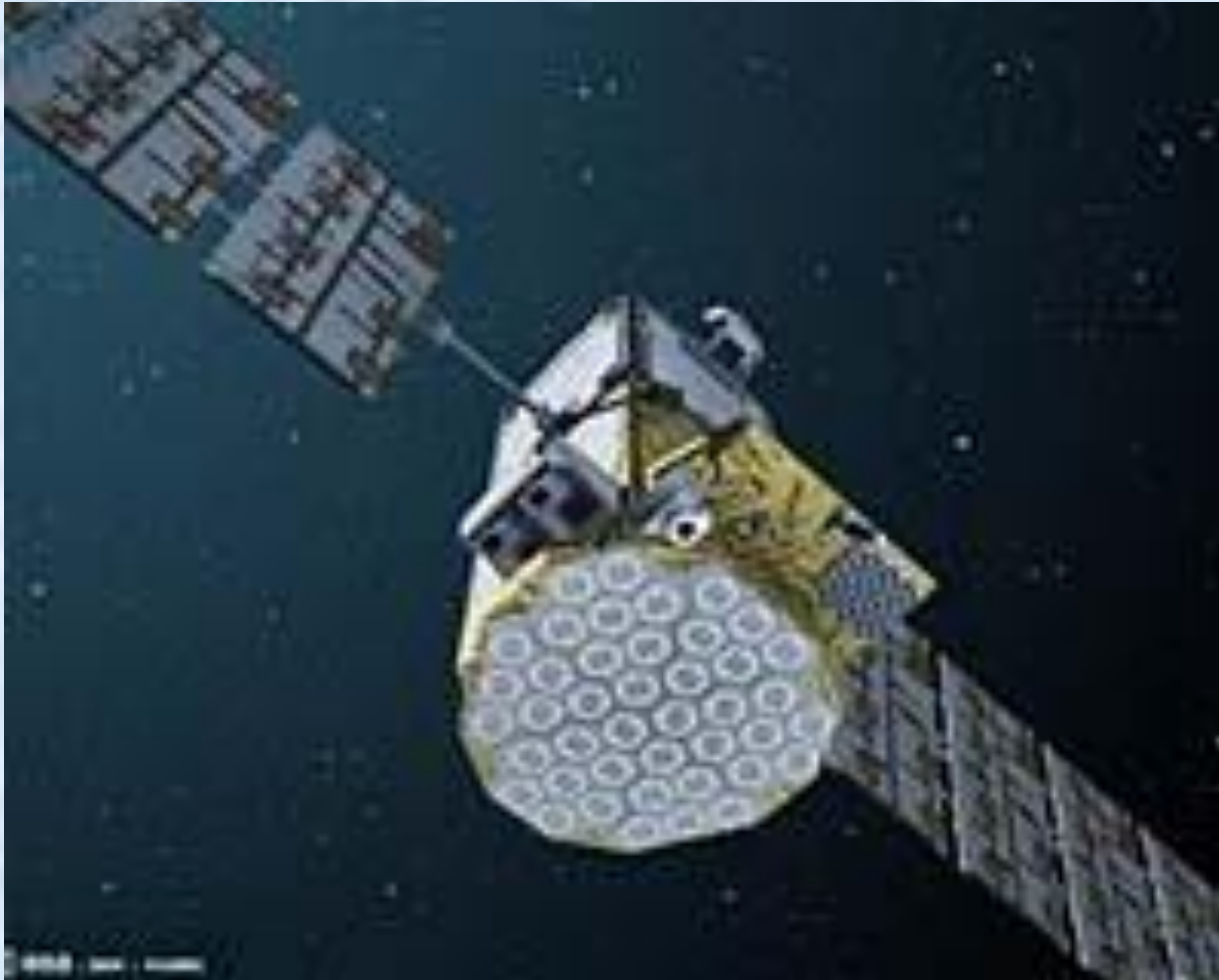


Европейская глобальная навигационная система GALILEO (планируется к вводу в эксплуатацию в 2013г.)

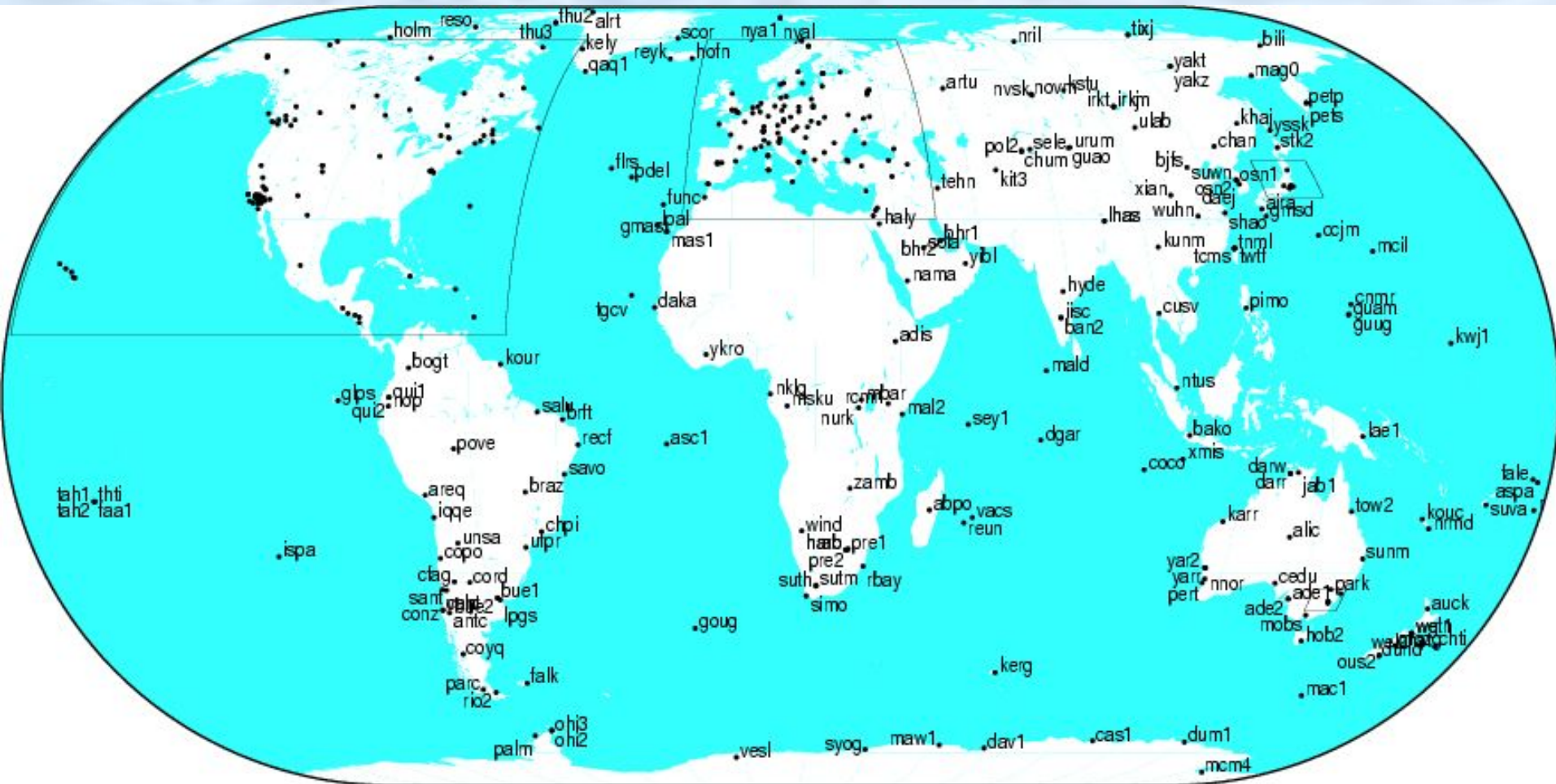
| Параметр | Значение | GPS |
|-----------------------------------|----------|---------------------|
| Число ИСЗ в системе | 30 | 24* (4 в запасе) |
| Число орбитальных плоскостей | 3 | 6 |
| Наклон орбиты | 54° | 55° |
| Высота ИСЗ над поверхностью Земли | 22966 км | 20150 км |
| Система координат | GTRS | WGS-84 |
| Срок активного существования | 12 лет | 7.5 лет |

* в настоящее время выведены на орбиту 2 SV's

Общий вид спутника системы GALILEO



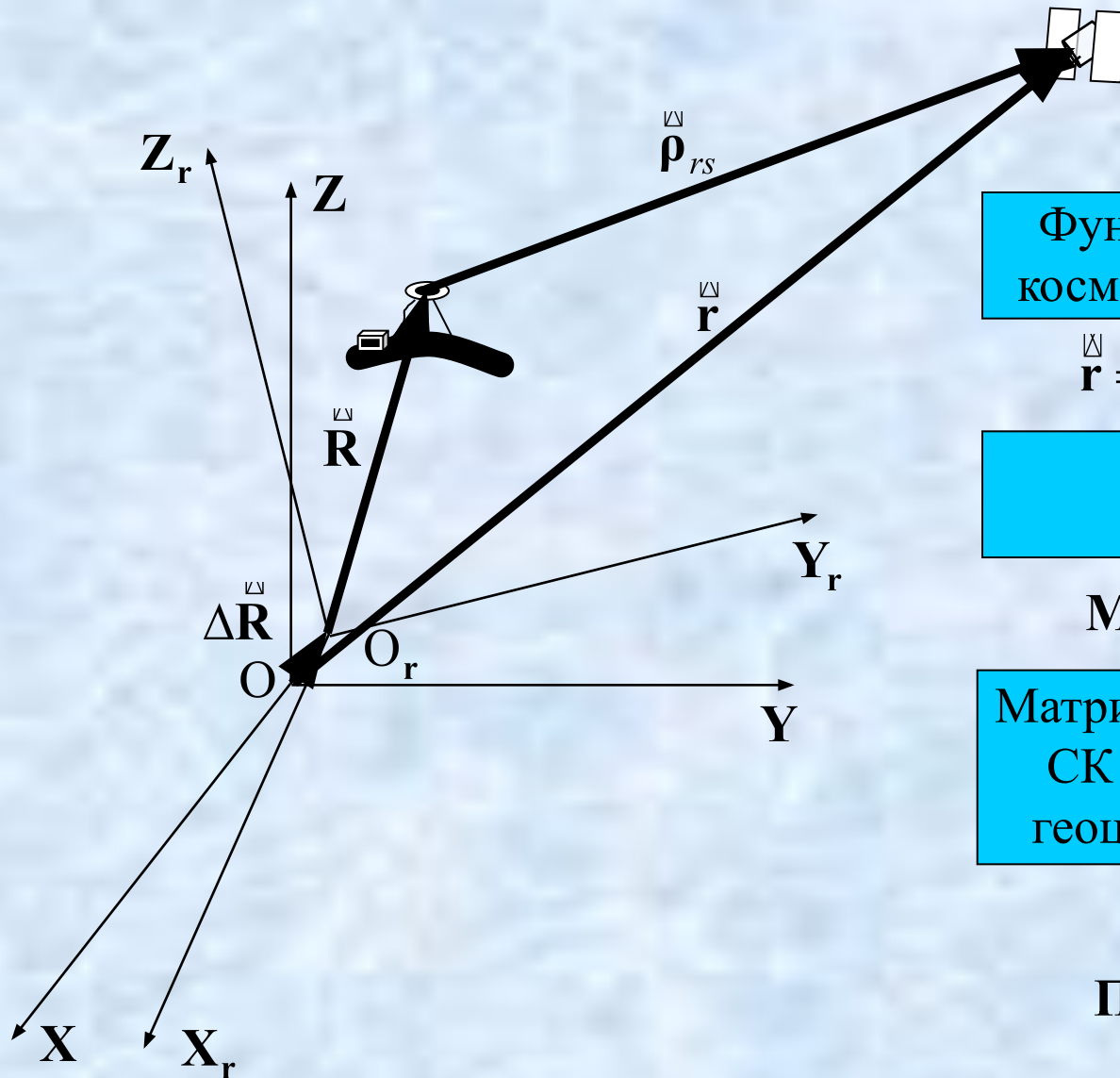
Наземный сегмент (сеть IGS)







Принципы определения местоположения при помощи ГССП GPS и ГЛОНАСС



Фундаментальное уравнение
космической геодезии (ФУКГ)

$$\mathbf{r} = \rho_{rs} + \mathbf{\Pi} \mathbf{M} \mathbf{R} + \Delta \mathbf{R}. \quad (1)$$

Матрица масштабов
вдоль осей координат

$$\mathbf{M} = \text{diag}(\mu_X, \mu_Y, \mu_Z).$$

Матрица разворота референционной
СК (X_r, Y_r, Z_r) относительно
геоцентрической СК (X, Y, Z)

$$\mathbf{\Pi} = \begin{pmatrix} 1 & \varphi & -\gamma \\ -\varphi & 1 & \vartheta \\ \gamma & -\vartheta & 1 \end{pmatrix}.$$

Принципы определения местоположения при помощи ГССП GPS и ГЛОНАСС

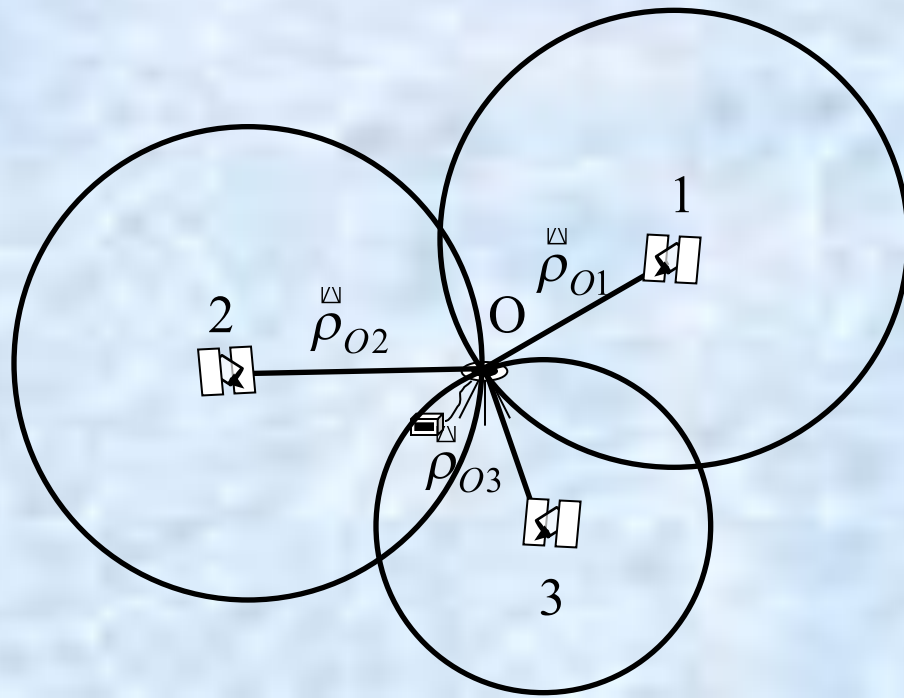
При $\Pi = M = E$ и $\Delta R = 0$ уравнение (1) приводится к виду :

$$\overset{\boxtimes}{\rho}_{rs} = \overset{\boxtimes}{\mathbf{r}} - \overset{\boxtimes}{\mathbf{R}}. \quad (2)$$

Записывая уравнение (2) по модулю для фиксированного момента t получаем :

$$|\overset{\boxtimes}{\rho}_{rs}| = \sqrt{(X_s - X_r)^2 + (Y_s - Y_r)^2 + (Z_s - Z_r)^2}. \quad (3)$$

Геометрическая интерпретация (пространственная линейная засечка)



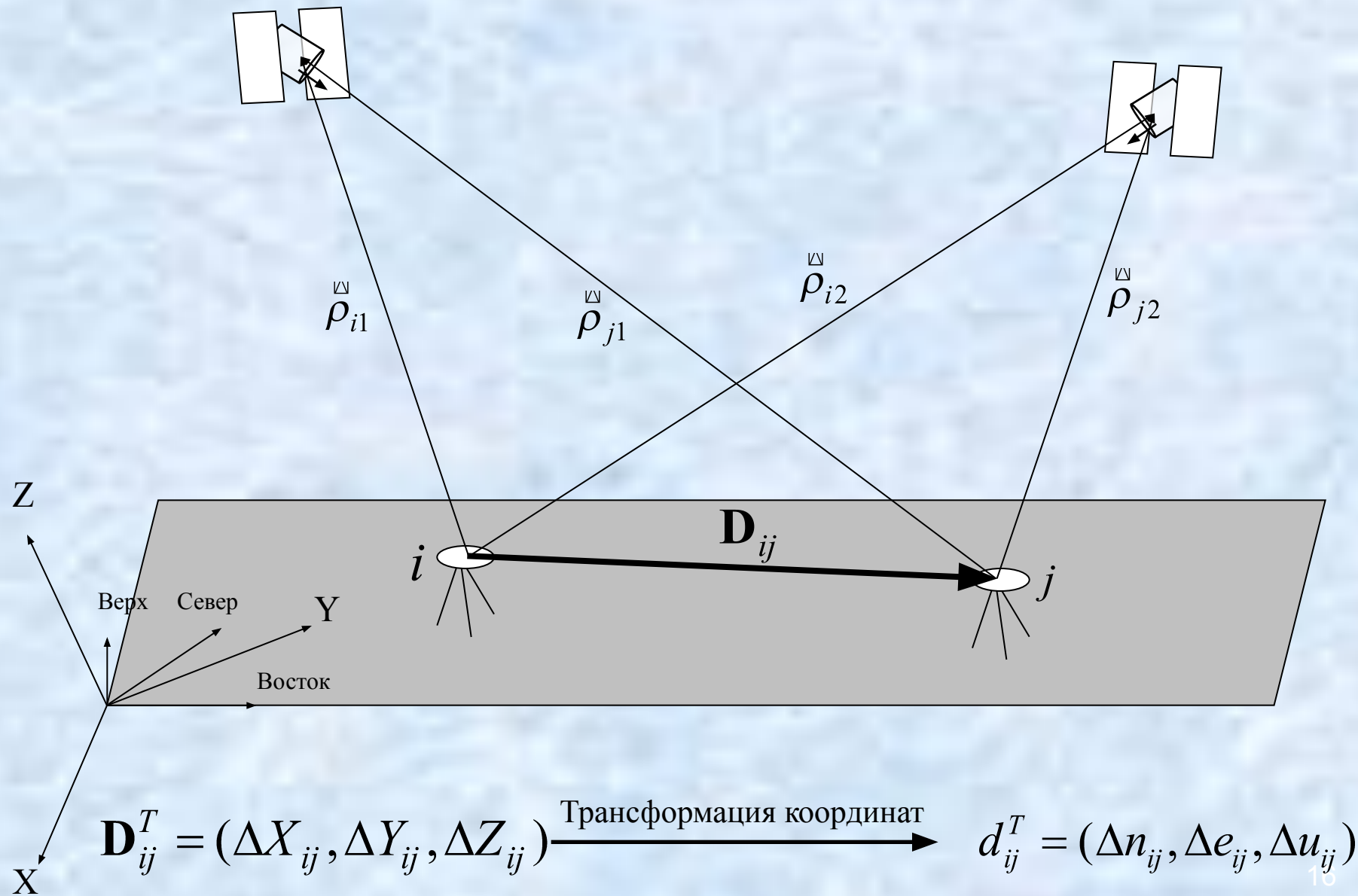
Абсолютное позиционирование

$$|\overset{\boxtimes}{\rho}_{01}| = \sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2};$$

$$|\overset{\boxtimes}{\rho}_{02}| = \sqrt{(X_2 - X_0)^2 + (Y_2 - Y_0)^2};$$

$$|\overset{\boxtimes}{\rho}_{03}| = \sqrt{(X_3 - X_0)^2 + (Y_3 - Y_0)^2}.$$

Относительное позиционирование



Трансформирование разностей геоцентрических координат в локальную ТПСК

Мы измерили базовую линию $\mathbf{D}_{ij}^T = (\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}, \Delta Z_{ij})$

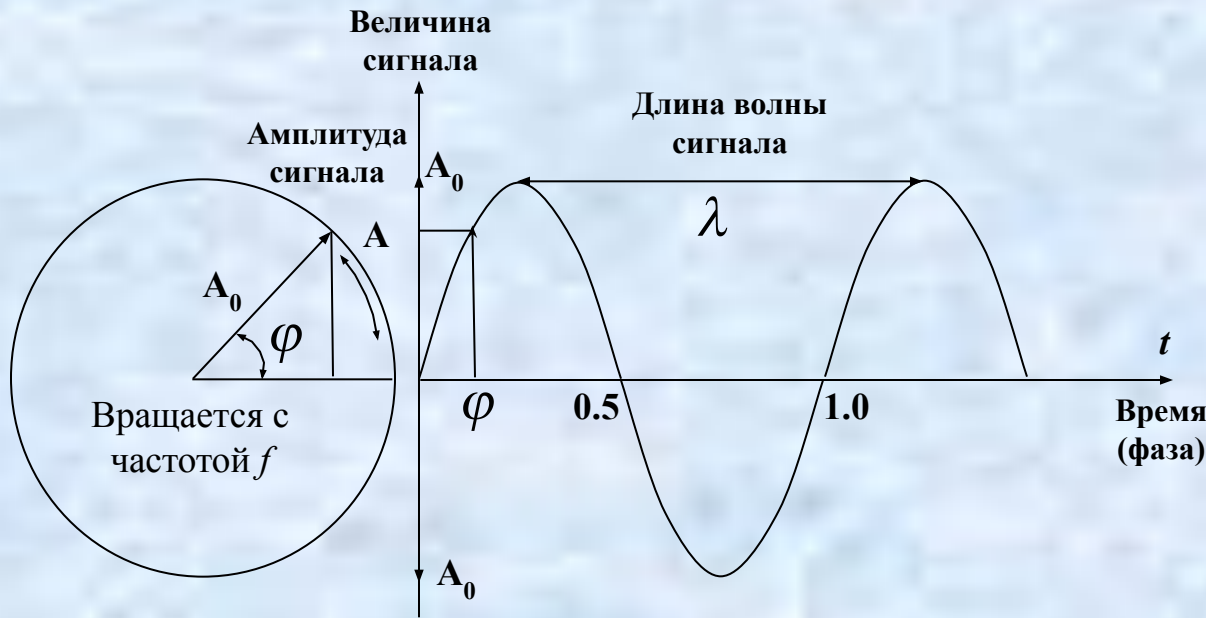
Известны геодезическая широта и долгота пункта i – B, L

Тогда компоненты этой же базовой линии в ТПСК \mathbf{d}_{ij} равны

$$\mathbf{d}_{ij} = \begin{pmatrix} \Delta n_{ij} \\ \Delta e_{ij} \\ \Delta u_{ij} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sin B_i \cos L_i & -\sin B_i \sin L_i & \cos B_i \\ -\sin L_i & \cos L_i & 0 \\ \cos B_i \cos L_i & \cos B_i \sin L_i & \sin B_i \end{pmatrix} \cdot (\mathbf{D}_{ij})$$

Сигналы, излучаемые спутниками GPS и ГЛОНАСС и их назначение

Немодулированный сигнал (несущая)



$$a = A_0 \sin(\omega t - \varphi_0);$$

$$\lambda = cT;$$

$$T = \frac{1}{f};$$

$$f = \frac{\omega}{2\pi}.$$

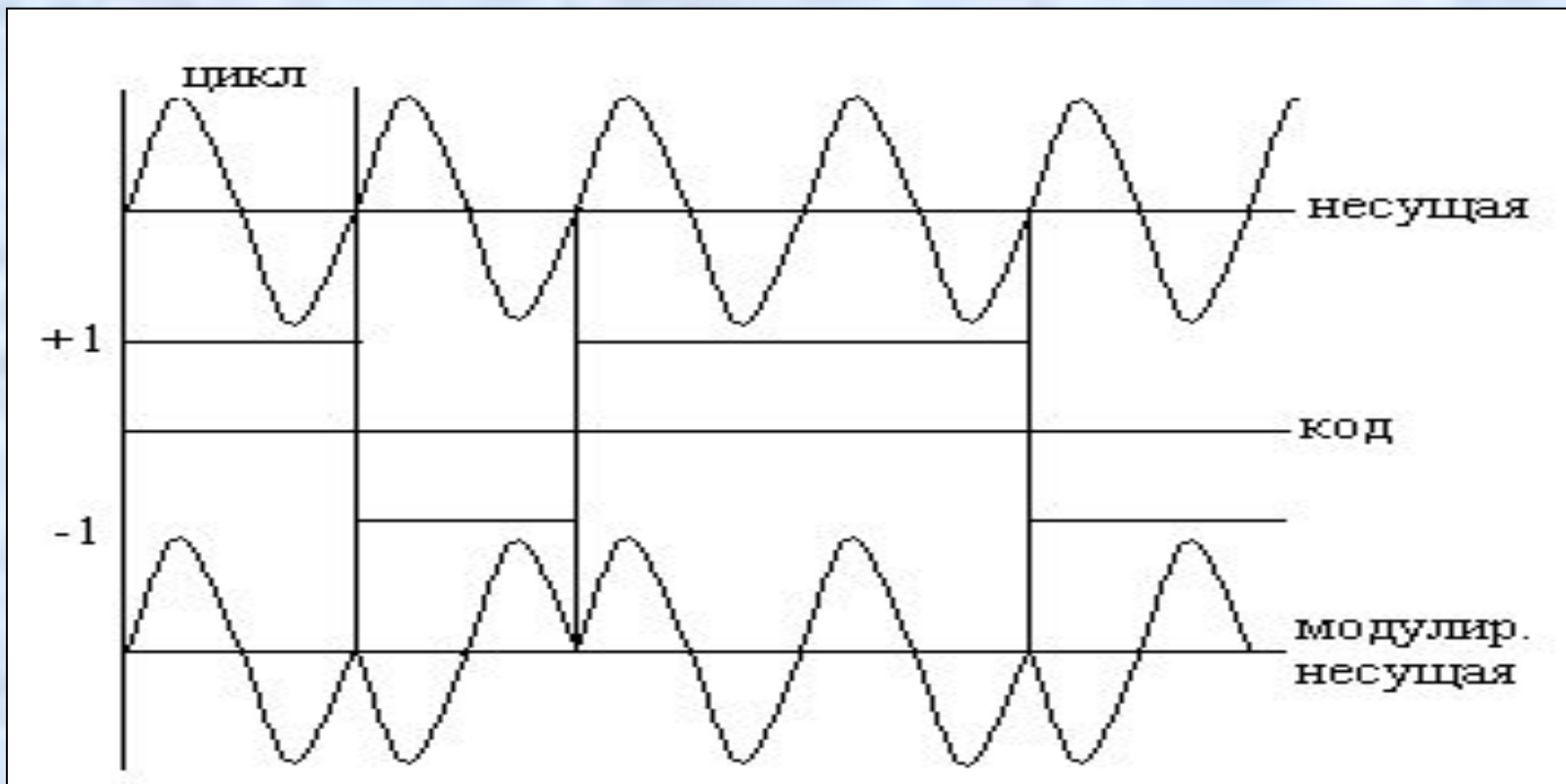
Назначение несущих сигналов:

1. Служат носителями дальномерных кодов, необходимых для получения расстояний определяемый пункт – спутник (кодовые псевдодальности).
2. Фазы несущих сигналов используются для получения расстояний определяемый пункт – спутник (фазовые псевдодальности) с наивысшей точностью.
3. Используются для передачи потребителям навигационного сообщения (эфемериды, альманах и т.д.).

Модулирование несущих сигналов в ГССП GPS и ГЛОНАСС

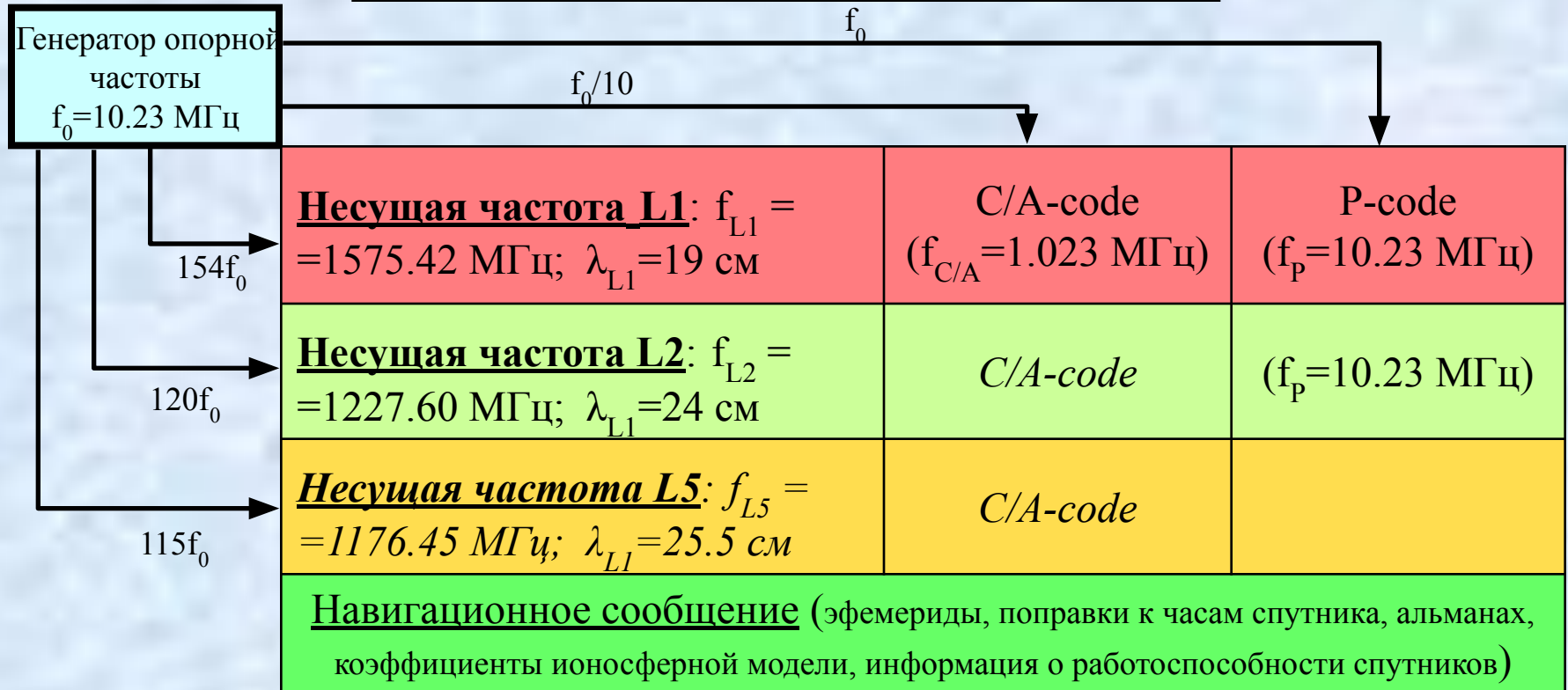
Дальномерные коды и другая необходимая информация, встраиваются в несущие колебания путем **фазовой манипуляции** (разновидность фазовой модуляции)

Принцип генерации фазоманипулированных сигналов



Принципы формирования и виды сигналов, излучаемые спутниками GPS

Упрощенная схема формирования радиосигналов на спутнике GPS



Дальномерные коды

C/A-code – грубый код или код открытого доступа

P-code – точный или защищенный код

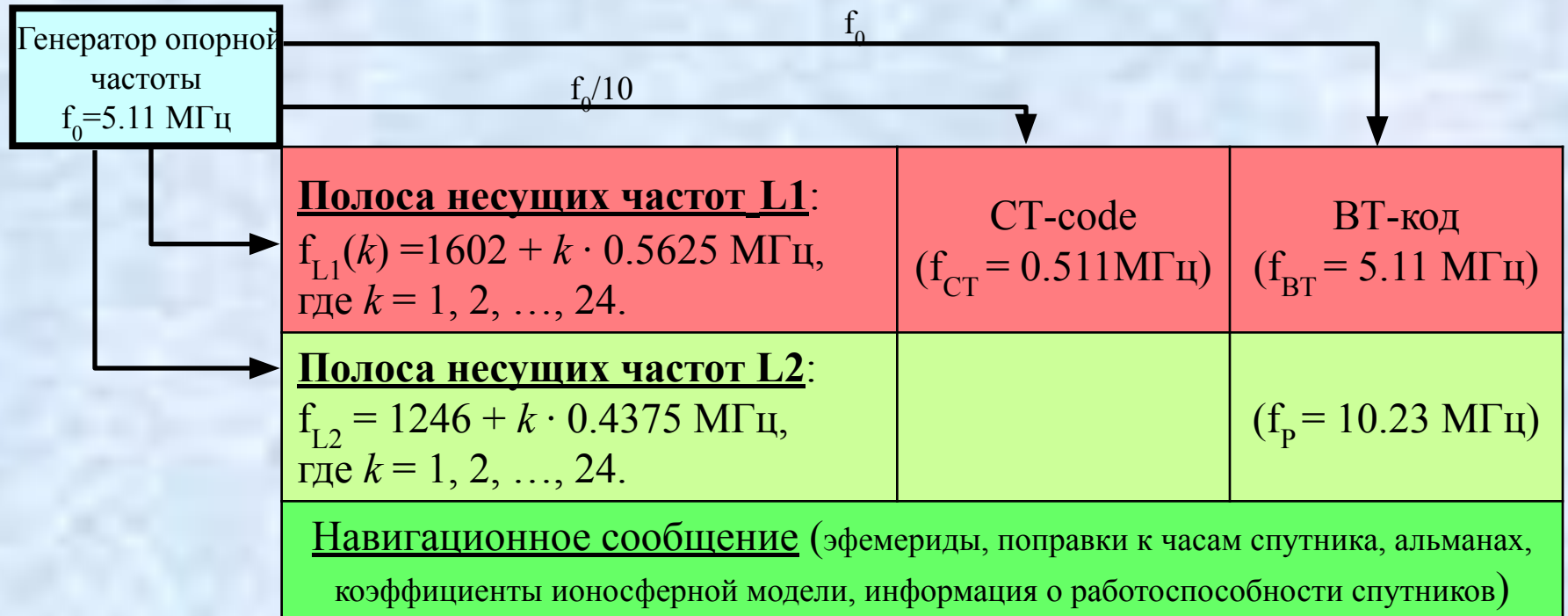
Режимы доступа

AS – режим дополнительного шифрования P-code

SA – режим селективного доступа (отменен в 2001 г.)

Принципы формирования и виды сигналов, излучаемые спутниками ГЛОНАСС

Упрощенная схема формирования радиосигналов на спутнике ГЛОНАСС



Дальномерные коды

СТ – код стандартной точности (аналог C/A-code);

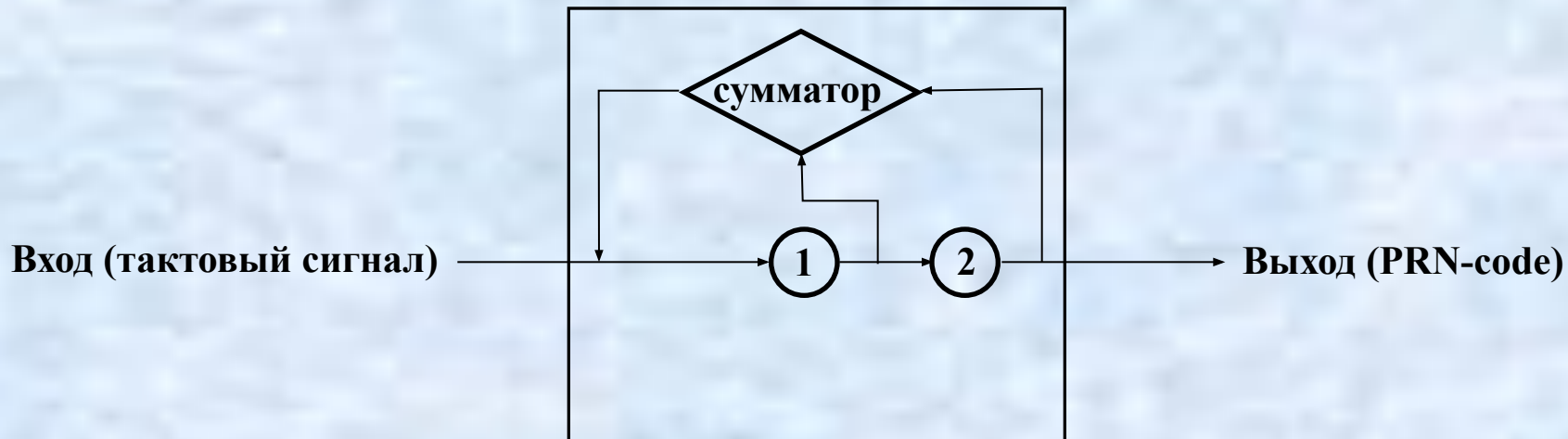
VT – точный код;

Режимы доступа

ограничения отсутствуют

Формирование дальномерных кодов (ПСП-последовательностей)

Простейший сдвиговый регистр обратной связи



Правила сложения битов информации

$$1 + 1 = 0; \quad 0 + 0 = 0$$

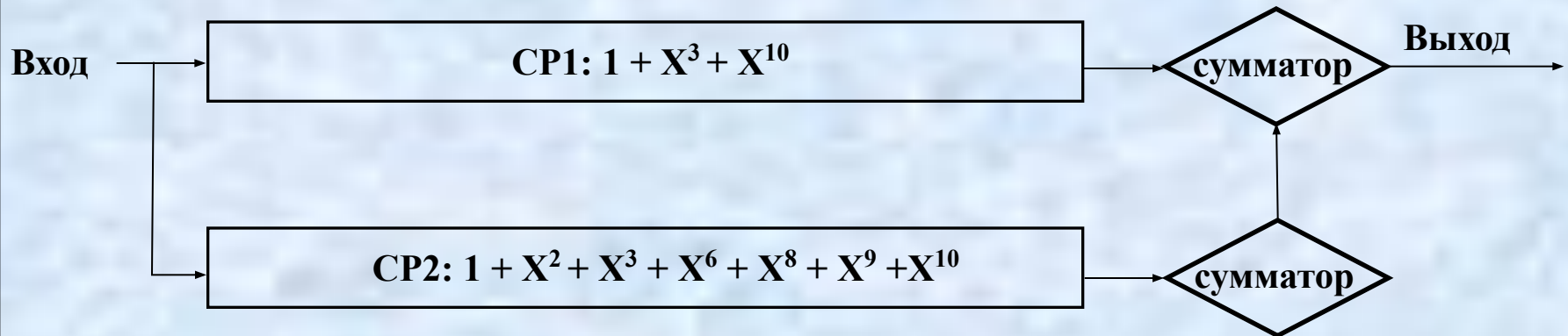
$$1 + 0 = 1; \quad 0 + 1 = 1$$

Образующий полином: $1 + X^1$

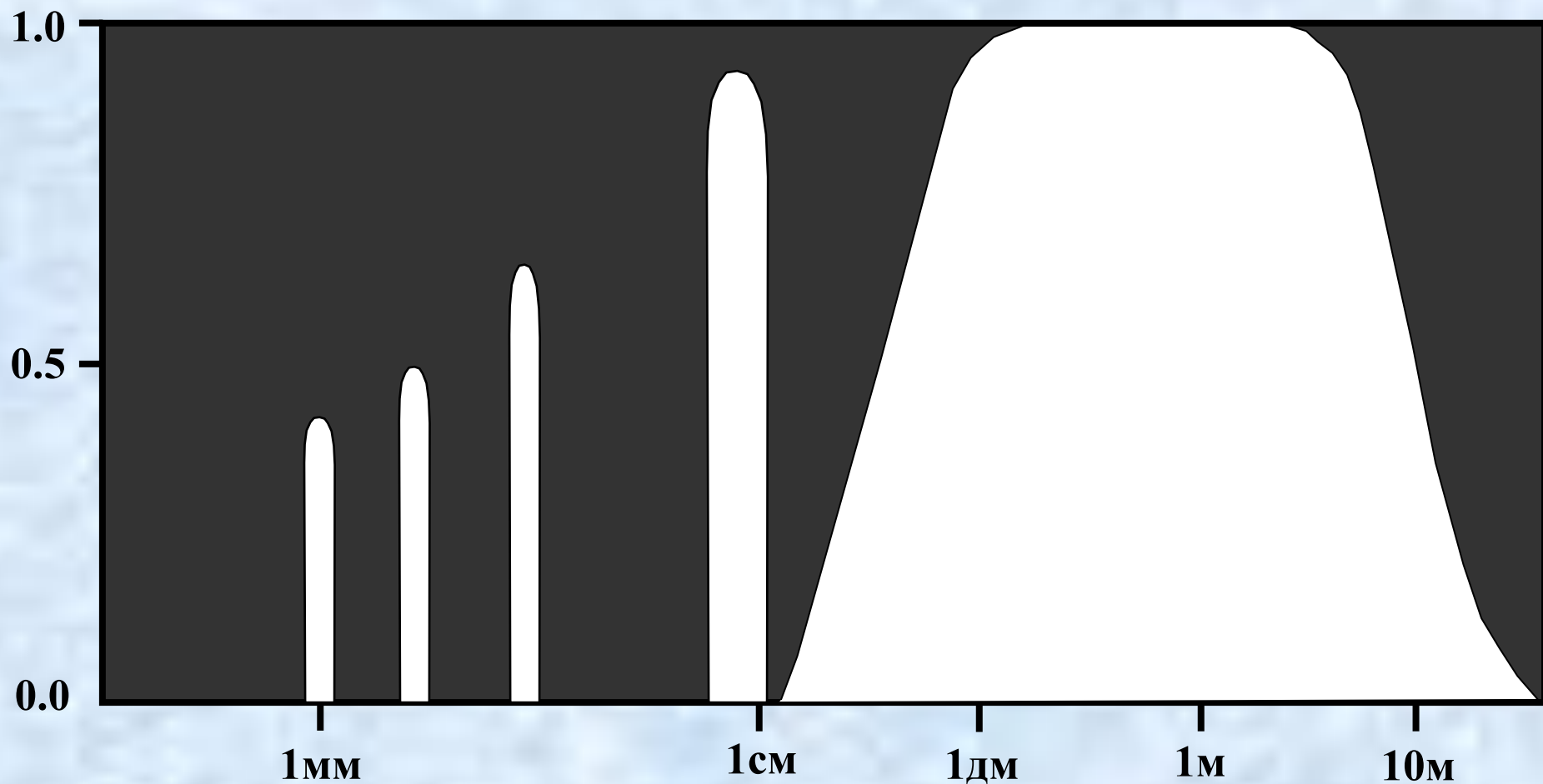
Кол-во символов в ПСП: $M = 2^k - 1$, где k – кол-во разрядов в регистре

| Номер такта | Cell 1 | Cell 2 | PRN-code |
|-------------|--------|--------|----------|
| 0 | 1 | 1 | - |
| 1 | 0 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 0 | 11 |
| 3 | 1 | 1 | 011 |

Формирование C/A-code в GPS



Пропускание радиоволн атмосферой Земли



Системы времени, используемые в ГССП

GPS и ГЛОНАСС

Системное время GPS и ГЛОНАСС не совпадает с международными шкалами времени TAI (Time Atomic International), UT (Universal Time), UTC (Universal Time Coordinated). Для перехода от системного времени GPS (GPST) и ГЛОНАСС (GLONASST) к UTC необходимо использовать формулы:

$$\text{GPST}=\text{UTC}+n_s,$$

$$\text{GLONASST}=\text{UTC}+3^h 00^s,$$

где n_s – поправка, вводимая в GPST. Системное время GPS и ГЛОНАСС корректируется в последнюю секунду 31 декабря или 30 июня, или в обе даты, когда расхождение UTC и UT1 (UT, исправленное за смещение мгновенного полюса Земли относительно его среднего положения) превышает 0.9 с.

За рубежом принято идентифицировать информацию, хранящуюся в БД и связанную с ГССП GPS и ГЛОНАСС, в соответствии с номером GPS недели (GPS week) и порядковым номером дня в ней. Счет GPS недель ведется с 6.01.1980 г. Для вычисления GPS week используется формула:

$$\text{GPSweek}=\text{int}[(\text{JD}-2444244.5)/7],$$

$$\text{JD}=\text{int}[365.25y]+\text{int}[30.6001(m+1)]+D+\text{UT}/24+1720981.5,$$

$$y=Y-1 \text{ and } m=M+12 \text{ if } M \leq 2;$$

$$y=Y \text{ and } m=M \text{ if } M > 2;$$

Например, файл точных эфемерид, соответствующий 17.12.2007 г. и хранящийся в БД сети IGS, получит наименование: igs14581.sp3.Z.

Размещение информации в БД сети IGS

IGS Product Availability - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Back Forward Stop Home Search Favorites Media

Address http://igsb.jpl.nasa.gov/components/prods_cb.html Go

This table indicates the most recent IGS ephemeris found by this server for recent days:

| | | Day of the Week | | | | | | |
|----------|----------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|
| | | S | M | T | W | Th | F | S |
| GPS Week | 1458 | Ultra06 | | | | | | |
| | 1457 | Rapid | Rapid | Rapid | Rapid | Rapid | Rapid | Ultra18 |
| | 1456 | Rapid | Rapid | Rapid | Rapid | Rapid | Rapid | Rapid |

IGS Final Orbit available for GPS weeks:

| | | | | | | | | | |
|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 1450 | 1451 | 1452 | 1453 | 1454 | 1455 | | | | |
| 1440 | 1441 | 1442 | 1443 | 1444 | 1445 | 1446 | 1447 | 1448 | 1449 |
| 1430 | 1431 | 1432 | 1433 | 1434 | 1435 | 1436 | 1437 | 1438 | 1439 |
| 1420 | 1421 | 1422 | 1423 | 1424 | 1425 | 1426 | 1427 | 1428 | 1429 |
| 1410 | 1411 | 1412 | 1413 | 1414 | 1415 | 1416 | 1417 | 1418 | 1419 |
| 1400 | 1401 | 1402 | 1403 | 1404 | 1405 | 1406 | 1407 | 1408 | 1409 |
| 1390 | 1391 | 1392 | 1393 | 1394 | 1395 | 1396 | 1397 | 1398 | 1399 |
| 1380 | 1381 | 1382 | 1383 | 1384 | 1385 | 1386 | 1387 | 1388 | 1389 |
| 1370 | 1371 | 1372 | 1373 | 1374 | 1375 | 1376 | 1377 | 1378 | 1379 |
| 1360 | 1361 | 1362 | 1363 | 1364 | 1365 | 1366 | 1367 | 1368 | 1369 |
| 1350 | 1351 | 1352 | 1353 | 1354 | 1355 | 1356 | 1357 | 1358 | 1359 |

Вычисление псевдодальностей в ГССП GPS и ГЛОНАСС

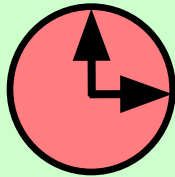
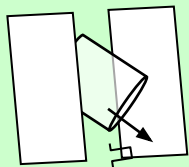
Основные методы определения псевдодальностей

```
graph TD; A[Основные методы определения псевдодальностей] --> B[Кодовый метод]; A --> C[Фазовый метод];
```

Кодовый метод
точность получения
псевдодальностей 0.3 – 0.6 м.

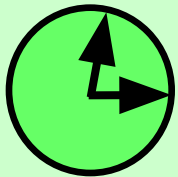
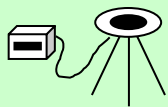
Фазовый метод
точность получения
псевдодальностей ~0.002 м.

Кодовый метод



Часы спутника t_s

Излученный спутниковый сигнал (ПСП)



Часы приемника t_r

Теоретически:

$$\rho_{rs} = c\Delta\tau = c [N\Gamma_{\Pi} + (m + \phi) \Gamma_m]. \quad (4)$$

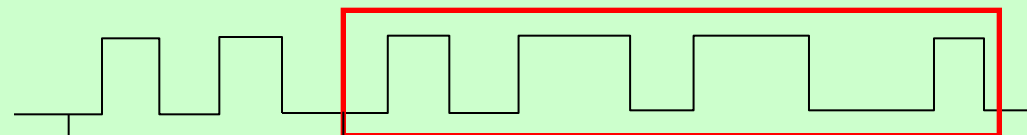
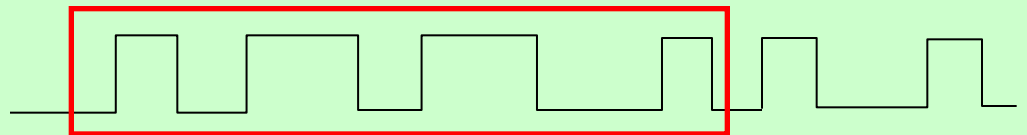
Учитывая, что $\lambda = c\Gamma$, получаем

$$\rho_{rs} = N\lambda_{\Pi} + (m + \phi) \lambda_m. \quad (5)$$

Практически, в простейшем случае имеем

$$\begin{aligned} P_{rs} &= c(t_r + \delta t_r) - c(t_s + \delta t_s) = \\ &= c(t_r - t_s) + c(\delta t_r - \delta t_s) = \rho_{rs} + c\delta t_r - c\delta t_s. \end{aligned} \quad (6)$$

Принятый спутниковый сигнал



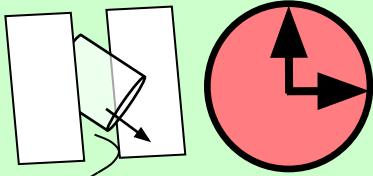
Сигнал, сгенерированный в приемнике

$$\Delta\tau = (T_s - T_r)$$

Параметры ПСП кодов стандартной точности

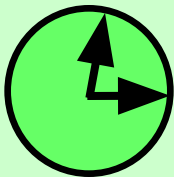
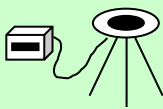
| Параметр | ГЛОНАСС | GPS |
|--|---------|---------|
| Число символов в ПСП M | 511 | 1023 |
| Тактовая частота f_m | 511кГц | 1023кГц |
| Интервалы следования символов в ПСП T_m | ~2мкс | ~2мкс |
| Длина волны символа ПСП $\lambda_m = c/f_m$ | ~587м | ~293м |
| Период повторения ПСП T_{Π} | 1мс | 1мс |
| Длина волны всей ПСП $\lambda_{\Pi} = Mc/f_m$ | ~300км | ~300км |

Фазовый метод



Часы спутника t_s

Излученный спутниковый сигнал (несущая)



Часы приемника t_r

Теоретически:

$$\Delta\varphi = \varphi_r - \varphi_s = \omega(t_r - t_s) = \omega\Delta\tau = 2\pi f\Delta\tau = \frac{2\pi}{\lambda} c\Delta\tau. \quad (7)$$

Учитывая что $\rho_{rs} = c\Delta\tau$, получаем из (7)

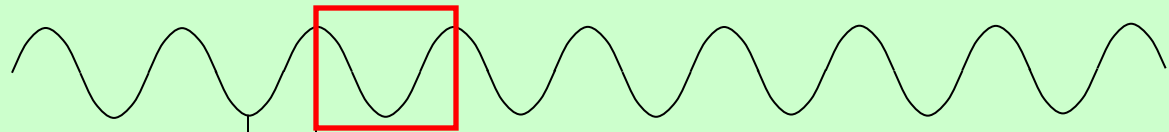
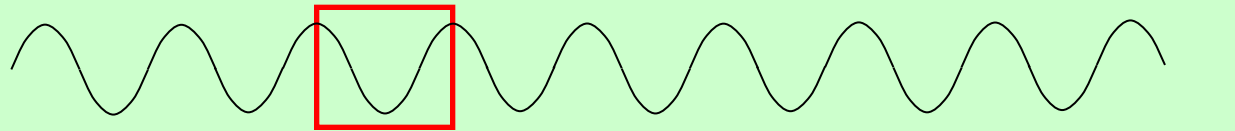
$$\rho_{rs} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \lambda = (N + \Phi)\lambda = N\lambda + \Phi\lambda = N\lambda + dP. \quad (8)$$

Практически, в простейшем случае имеем

$$\frac{\Delta\varphi + \delta\varphi_r + \delta\varphi_s}{2\pi} \lambda = \rho_{rs} + \frac{\delta\varphi_r}{2\pi} \lambda + \frac{\delta\varphi_s}{2\pi} \lambda;$$

$$P_{rs} = N\lambda + dP = \rho_{rs} + \delta P_r + \delta P_s. \quad (9)$$

Принятый спутниковый сигнал



$$\Delta\tau = (T_s - T_r)$$

Сигнал, сгенерированный в приемнике

Источники ошибок, оказывающие влияние на результаты позиционирования при помощи ГССП GPS и ГЛОНАСС

**Случайные («белый шум»)
влияние минимизируется путем
осреднения результатов измерений**

**Систематические («смещения»)
неустранимы путем осреднения
результатов измерений**

1. Ошибки, связанные с погрешностями исходных данных, главенствующая роль в которых принадлежит неточностям эфемерид спутников, определяющих их положение в пространстве в любой момент времени.

2. Ошибки, обусловленные влиянием внешней среды на распространение дальномерного сигнала. К ним относятся ионосферные и тропосферные задержки, отражение радиоволн от окружающих предметов (многолучевость или многопутность), препятствия на пути сигнала, релятивистские эффекты.

3. Нестабильность работы опорного генератора спутника. Задержки сигнала в аппаратуре спутника и приемника, неточность знания положения фазового центра антенны приемника.

4. Геометрический фактор – влияние геометрии взаимного расположения наблюдаемых спутников на результаты позиционирования.

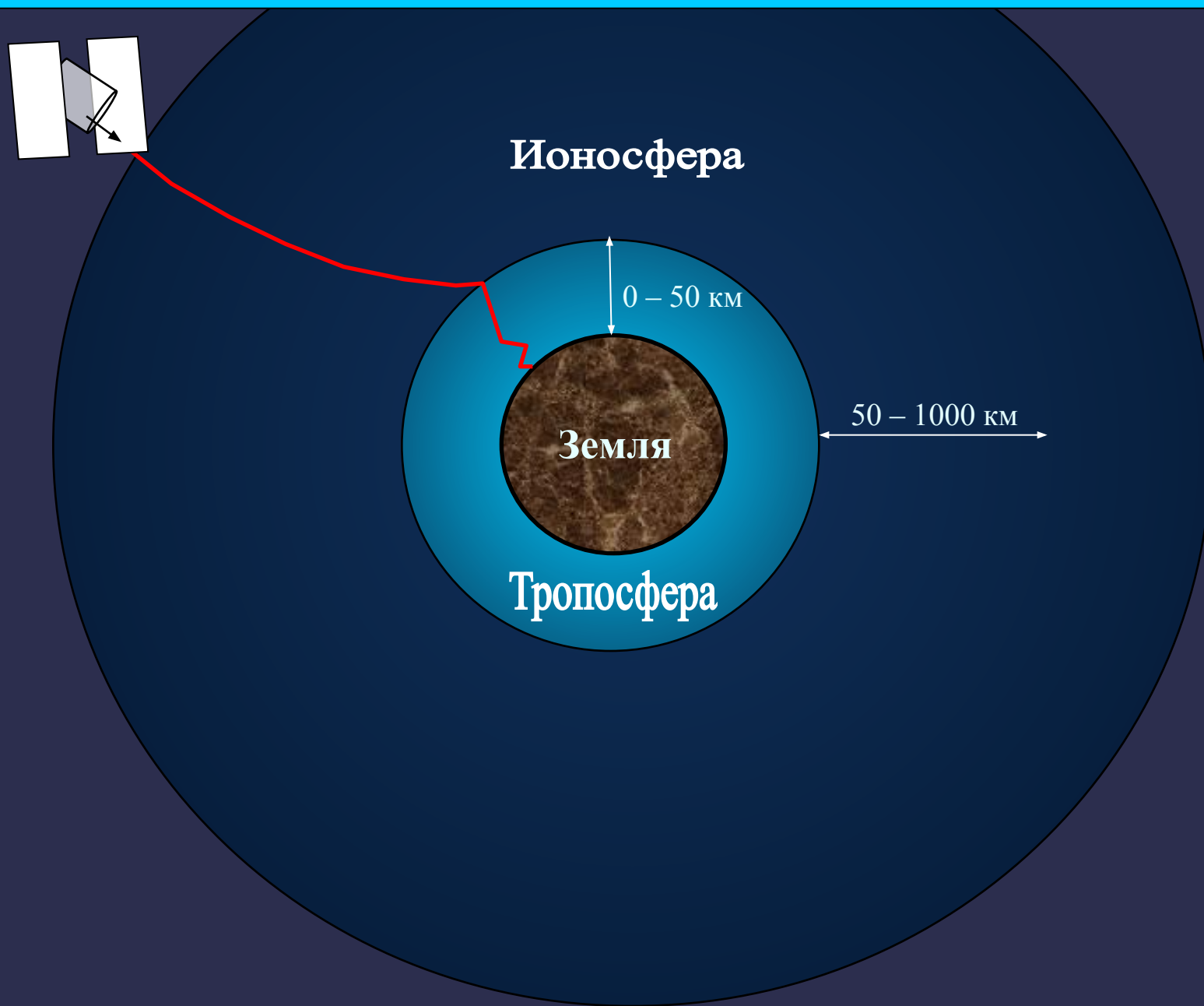
Существуют и другие ошибки, не относящиеся ни к одной из перечисленных групп, например, ошибки трансформирования результатов позиционирования из системы координат WGS-84 в ПЗ-90 и т.д.

Влияние ошибок эфемерид спутников GPS и ГЛОНАСС на точность позиционирования

$$\delta b = \frac{b(\text{км})}{25000(\text{км})} \Delta R$$

| $\Delta R(\text{м})$ | $b(\text{км})$ | δb (мм) |
|----------------------|----------------|-----------------|
| 2.50 | 10 | 1 |
| 2.50 | 100 | 10 |
| 2.50 | 1000 | 100 |
| 0.25 | 100 | 1 |
| 0.25 | 1000 | 10 |
| 0.05 | 100 | - |
| 0.05 | 1000 | 0.5 |

Атмосферная рефракция



Влияние ионосферы на результаты GPS и ГЛОНАСС измерений

Искажение псевдодальности, обусловленное влиянием ионосферы

$$\delta P_{Iono} = \pm \frac{1}{\cos z'} \frac{40.3}{f^2} TVEC = \pm \frac{k}{f^2}. \quad (10)$$

δP_{Iono} может принимать значения от 0.15 до 50 м. При отсутствии учета ионосферной рефракции базовые линии оказываются преуменьшенными на величину $0.08 TVEC$ [ppm].

Моделирование ионосферной рефракции (модель Джона Клобушара)

$$\delta t_{Iono} = A_1 + A_2 \cos \frac{2\pi(t - A_3)}{A_4}. \quad (11)$$

$A_1 = 5\text{ns}$, A_2 – амплитуда, A_3 – фаза, A_4 – период функции δt_{Iono} .

Важнейшие линейные комбинации GPS/ГЛОНАСС измерений и «уничтожение» эффекта ТЕС

Пусть измерены дробные части разности фаз спутникового сигнала ϕ_{L_1}, ϕ_{L_2} на частотах L_1 и L_2 , тогда их линейной комбинацией называется величина

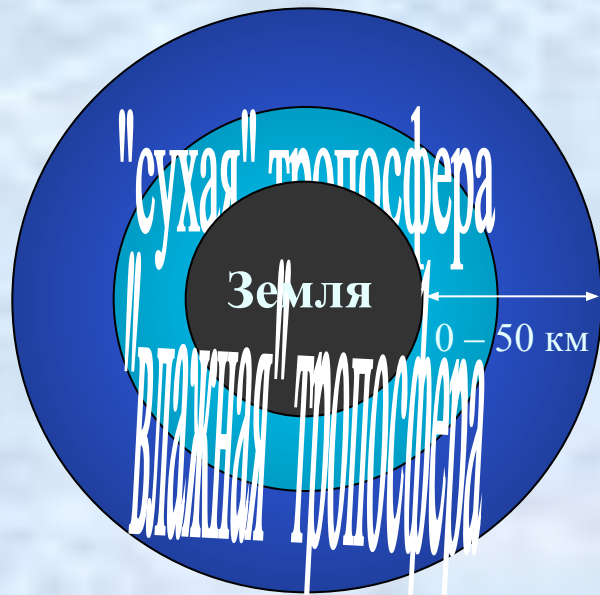
$$\phi_{L_1, L_2} = \alpha \phi_{L_1} + \beta \phi_{L_2}. \quad (12)$$

$$P_{L_1, L_2} = P_{L_1} - \frac{f_{L_2}^2}{f_{L_1}^2} P_{L_2} \quad \text{или} \quad \phi_{L_1, L_2} = \phi_{L_1} - \frac{f_{L_2}}{f_{L_1}} \phi_{L_2} \quad (13)$$

Ионосферно-свободная
линейная комбинация
кодовых и фазовых измерений

| Название комбинации | α | β | Результирующая длина волны (см) |
|--------------------------------------|----------|---------|---------------------------------|
| L1 | 1 | 0 | 19.0 |
| L2 | 0 | 1 | 24.4 |
| Суммарная (narrow line) | 1 | 1 | 10.7 |
| Разностная (wide line, L5) | 1 | -1 | 86.2 |
| Ионосферно-свободная (Iono-free, L3) | 1 | -0.78 | 5.4 |

Влияние тропосферы на результаты GPS и ГЛОНАСС измерений



Тропосферные
искажения

Абсолютные

$\delta P_{Tropo} = 10\text{см}$
даёт

$\delta b = 0.05\text{ppm}$

Относительные

$\delta P_{Tropo} = 1\text{см}$
даёт

$\delta H = 3\text{см}$

Искажение псевдодальности, обусловленное влиянием тропосферы, может изменяться в пределах от 2.4м ($z = 0^\circ$) до 24.2м ($z = 85^\circ$). Условно тропосфера подразделяется на два слоя – «сухой» и «влажный».

Искажения в сухом слое:

- составляют 90% от общего искажения псевдодальности в тропосфере;
- главным образом зависят от давления на поверхности Земли;
- медленно изменяются со временем (1см/6ч).

Искажения во влажном слое:

- по величине < 40 см;
- главным образом зависят от концентрации водяных паров в приземном слое атмосферы;
- быстро изменяются со временем.

Учет влияния тропосферы на результаты GPS и ГЛОНАСС измерений

Методы учета тропосферной рефракции

```
graph TD; A[Методы учета тропосферной рефракции] --> B[Моделирование тропосферы  
(менее трудоемко и более просто, но менее точно)]; A --> C[Оценка параметров тропосферы  
(более трудоемко и сложно, но более точно)];
```

Моделирование тропосферы

(менее трудоемко и более просто, но менее точно)

Оценка параметров тропосферы

(более трудоемко и сложно, но более точно)

Моделирование тропосферы

К настоящему времени разработано большое количество моделей тропосферы, например, модели Хопфилда (Hopfield, 1969), Саастамойнена (Saastamoinen, 1973) и др. Все модели строятся на основе общей формулы

$$\delta P_{Tropo} = f_{dry}(z) \cdot \delta P_{dry}(0) + f_{wet}(z) \cdot \delta P_{wet}(0). \quad (13)$$

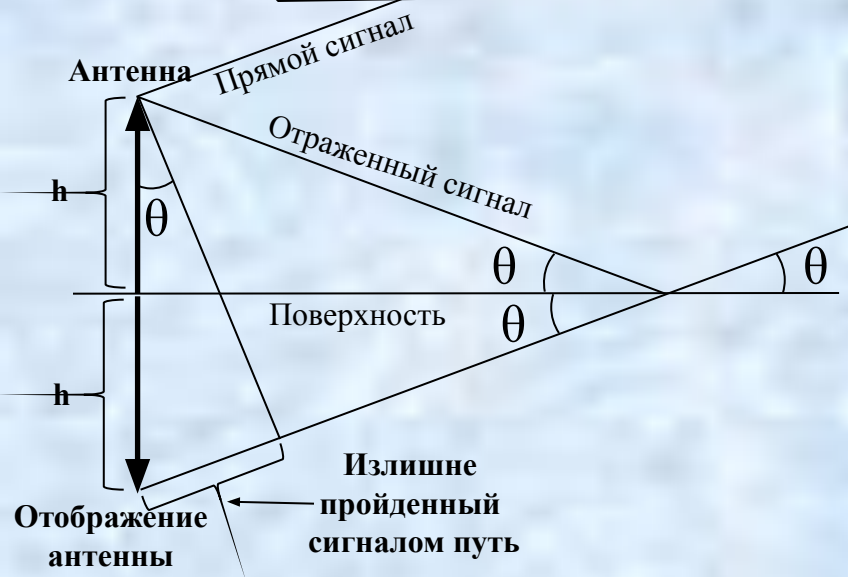
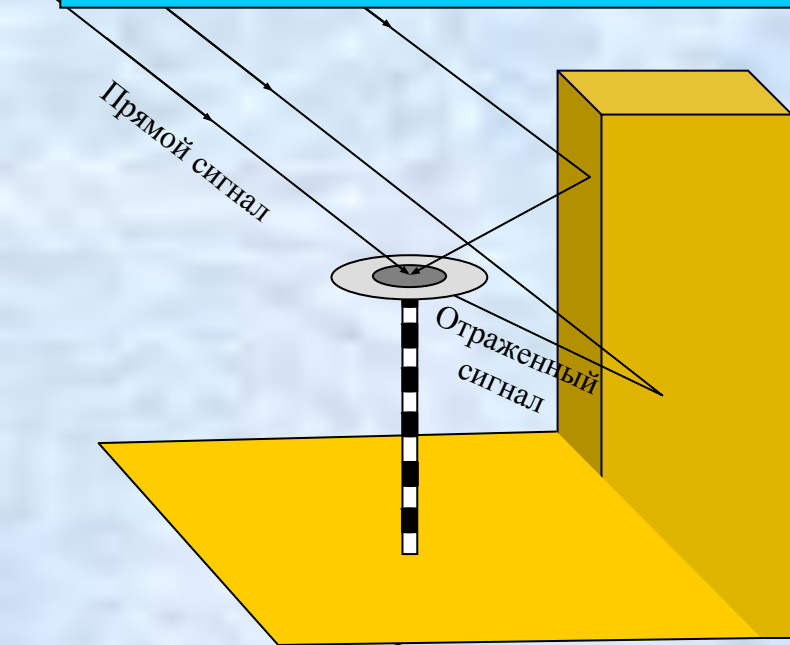
В формуле (13) величины δP_{dry} , δP_{wet} вычисляются с использованием информации о температуре T , давлении P и влажности ε в пункте наблюдений. Эта информация может быть получена путем экстраполяции стандартных значений T , P и ε в пункте наблюдений или путем метеорологических наблюдений в GPS/ГЛОНАСС пункте.

Оценивание параметров тропосферы

Искажение псевдодальности из-за влияния тропосферной рефракции может рассматриваться как кусочно-непрерывная линейная функция, либо как случайный (стохастический) процесс. Во втором случае для оценки параметров тропосферы используется фильтр Кальмана, а в первом случае используется формула

$$\delta P_{Tropo} = f_{apr}(z) \cdot \delta P_{apr} + f(z) \cdot \delta P(t). \quad (14)$$

Влияние эффекта многолучевости на результаты GPS/ГЛОНАСС измерений

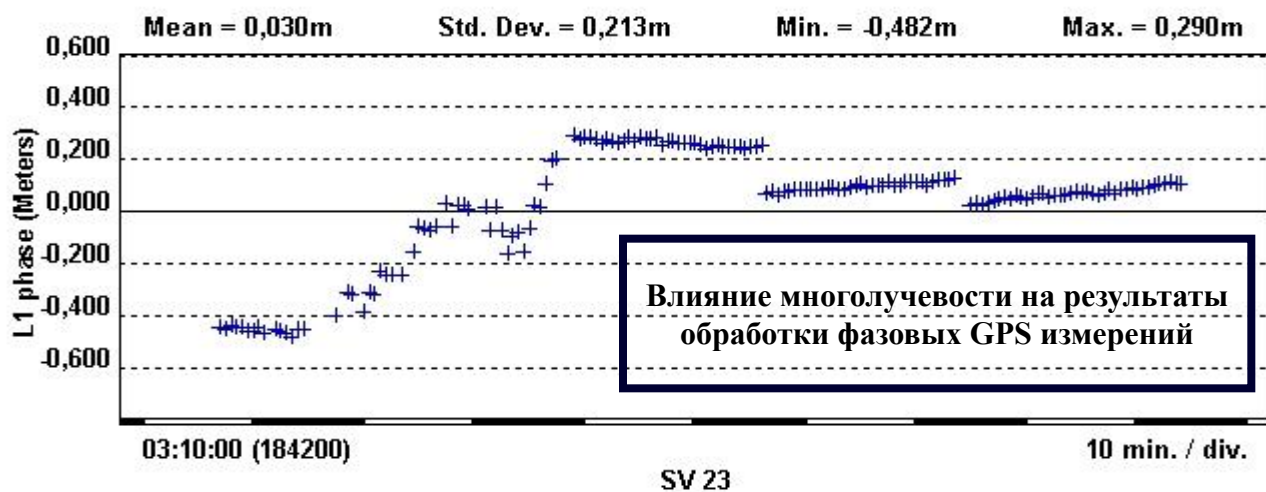
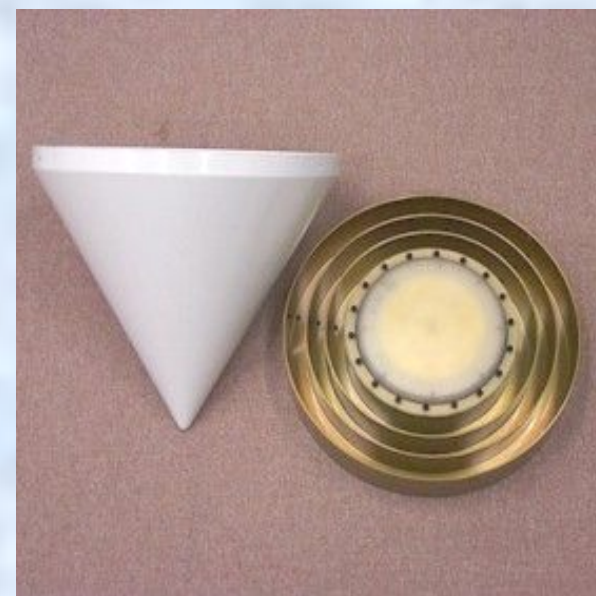
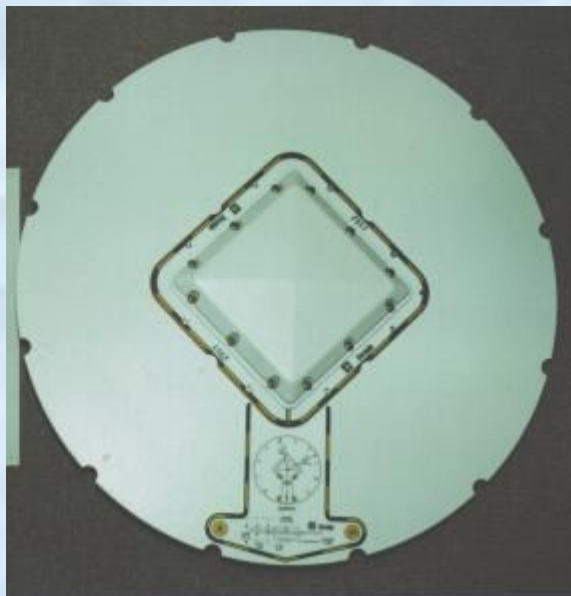


Переотражение сигнала может привести к ошибкам в измерении псевдодальностей по коду и фазе несущей до 20м (код) и несколько см (фаза). Особенно ярко эффект многолучевости проявляется при наблюдении НИСЗ с малыми углами возвышения.

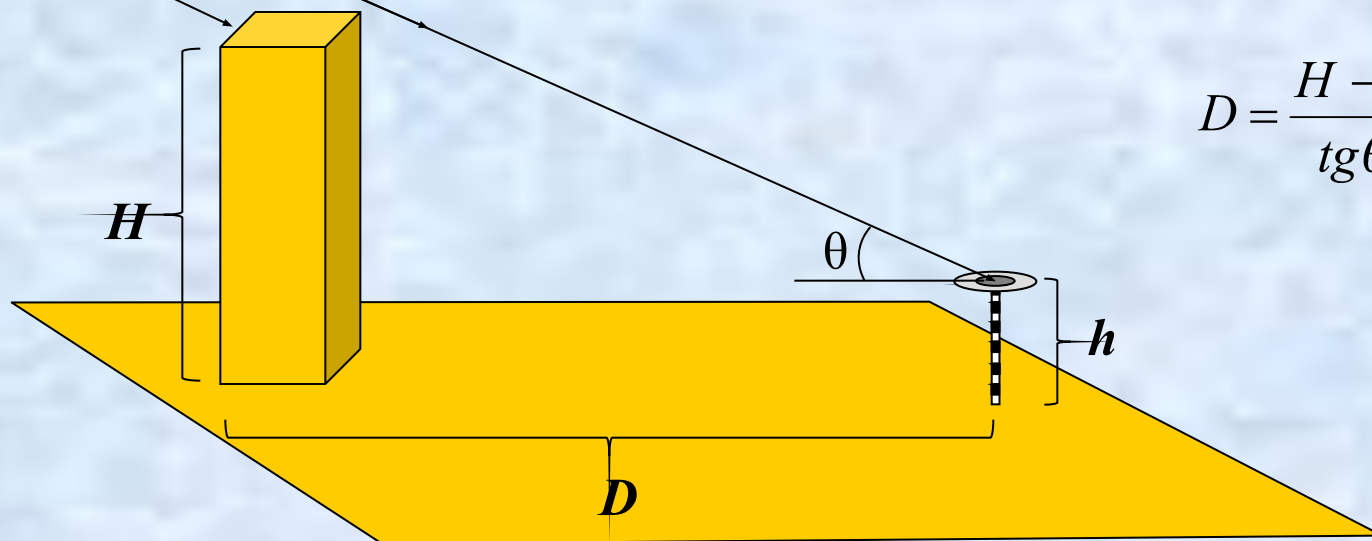
При увеличении высоты антенны над поверхностью величина искажений растет, но период уменьшается и наоборот.

Эффект многолучевости слабо поддается моделированию, но хорошо осредняется за длительный период времени или фильтруется сидерическим фильтром. Хорошо себя зарекомендовали плоские экраны-отсекатели и экраны типа choke-ring.

Пример плоского экрана-отсекателя и экранов типа Choke-Ring



Препятствия на пути спутникового сигнала



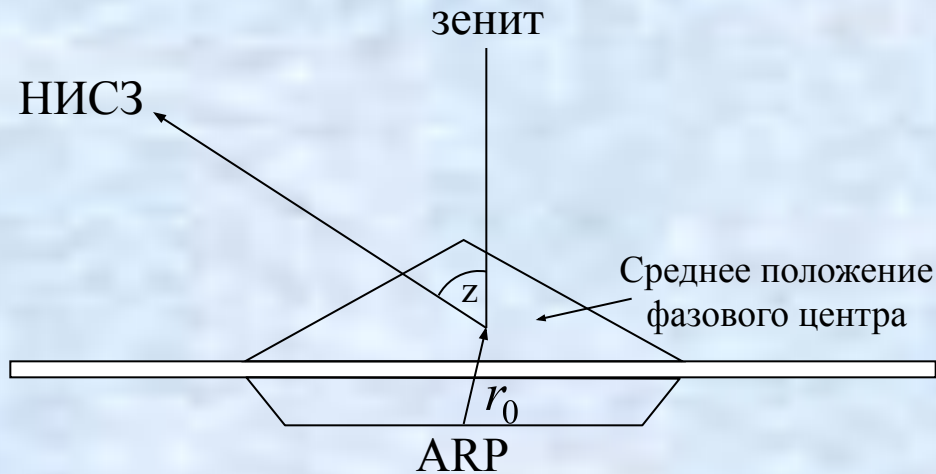
$$D = \frac{H - h}{\operatorname{tg}\theta}. \quad (15)$$

| | | | | | |
|---|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Высота препятствия H, м | 2 | 5 | 10 | 15 | 25 |
| Рекомендуемое расстояние D, м | 3 | 20 | 49 | 77 | 134 |

Примечание: таблица составлена для $h = 1.5$ м и $\theta = 10^\circ$

Радиоволны способны огибать препятствия, сравнимые с длиной волны сигнала, т.е. около 20-25 см. При измерениях по фазе несущей важно каждое измерение, а при кодовых нет, т.к., например, один символ C/A-code вмещает около 1500 несущих колебаний. Поэтому кодовые наблюдения возможны даже под кронами деревьев.

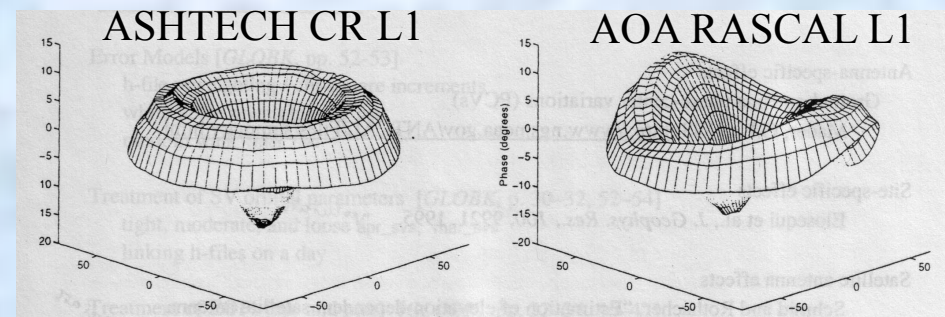
Влияние нестабильности и неточного знания положения фазового центра антенны на результаты GPS/ГЛОНАСС позиционирования



Вариации фазового центра описываются моделью вида

$$\delta r^{\Delta} = r_0^{\Delta} + \delta\phi(z, \alpha) \cdot e_{z, \alpha}^{\Delta} \quad (16)$$

Использование при наблюдениях антенн разных типов может привести к ошибкам определения отметок пунктов до 10 см. Вариации фазового центра приводят к искажению длин длинных базовых линий на величину до 0.016ppm

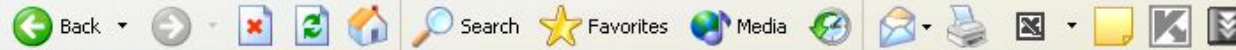


Графики вариации фазы принимаемого сигнала для двух типов антенн

Калибровка GPS/ГЛОНАСС

Global Positioning System (GPS) Antenna Calibration - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help



Address <http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>



GPS Antenna Calibration



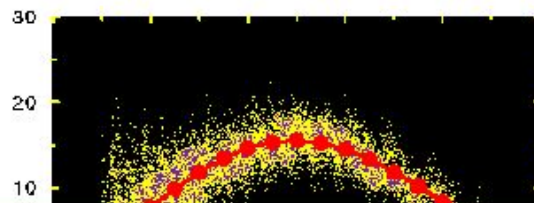
Calibrated Antennas:

- [AeroAntenna](#)
- [Allen Osborne Associates](#)
- [Ashtech](#)
- [Javad](#)
- [Leica](#)
- [Macrometer](#)
- [Micro Pulse](#)
- [NavCom](#)
- [NovAtel](#)
- [Sensor Systems](#)
- [Sokkia](#)
- [Spectra Precision](#)
- [Thales Navigation](#)
- [Topcon](#)
- [Trimble](#)
- [GPS Block II A Satellite](#)



Antenna testing facility in Corbin, VA

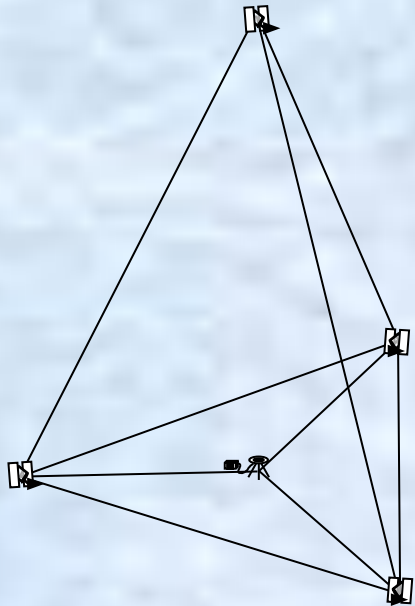
Phase Center Variation (mm)



Antenna Calibration Resources

- [Calibration Format Information](#)
- [GPS Antenna Calibration at the National Geodetic Survey \[PDF Version\]](#) by Gerald L. Mader

Геометрический фактор (DOP) и его влияние на результаты GPS/ГЛОНАСС позиционирования



DOP является связующим звеном между точностью псевдодальномерных измерений σ_{mes} и точностью позиционирования σ :

$$\sigma = DOP \sigma_{mes} \cdot (17)$$

Матрица весовых коэффициентов координат точки

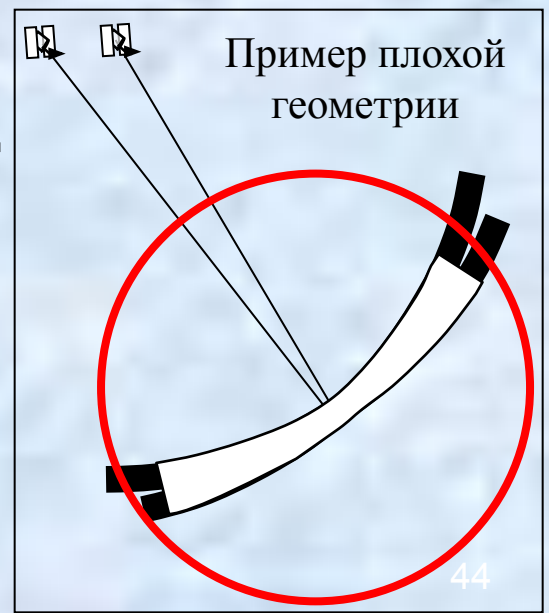
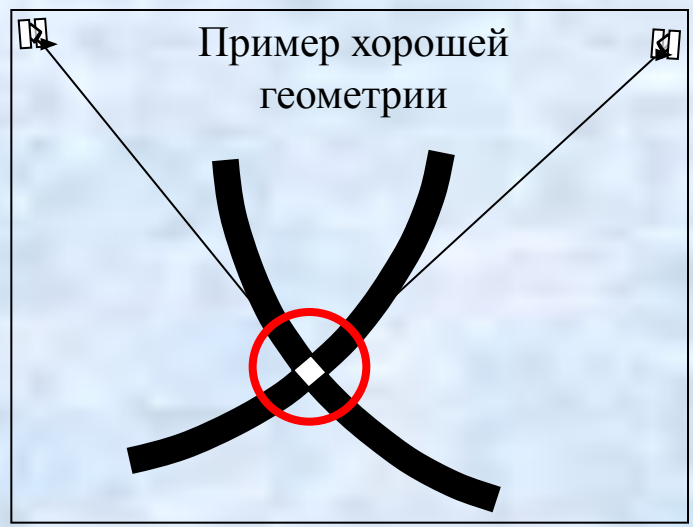
| PDOP | Вербальная характеристика |
|----------|---------------------------|
| ≤ 4 | хорошо |
| 5-7 | удовлетворительно |
| ≥ 7 | плохо |

$$Q_X = \begin{pmatrix} q_{XX} & q_{XY} & q_{XZ} & q_{Xt} \\ q_{XY} & q_{YY} & q_{YZ} & q_{Yt} \\ q_{XZ} & q_{YZ} & q_{ZZ} & q_{Zt} \\ q_{Xt} & q_{Yt} & q_{Zt} & q_{tt} \end{pmatrix} \cdot (18)$$

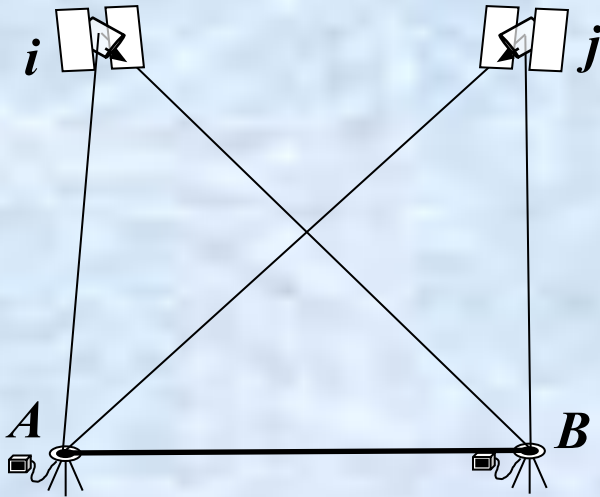
$$GDOP = \sqrt{q_{XX} + q_{YY} + q_{ZZ} + q_{tt}}; \quad HDOP = \sqrt{q_{nn} + q_{ee}};$$

$$PDOP = \sqrt{q_{XX} + q_{YY} + q_{ZZ}}; \quad VDOP = \sqrt{q_{uu}}.$$

$$TDOP = \sqrt{q_{tt}};$$



Формирование разностей спутниковых измерений



Пусть на пунктах A и B одновременно измеряются фазовым методом псевдодальности до спутников i и j , тогда для фиксированного момента времени t можем записать два уравнения

$$dP_{Ai} = \rho_{Ai} - N_{Ai}\lambda + \delta P_A + \delta P_i + \delta P_{Ai}. \quad (19)$$

$$dP_{Bi} = \rho_{Bi} - N_{Bi}\lambda + \delta P_B + \delta P_i + \delta P_{Bi}. \quad (20)$$

Вычитая из уравнения (20) уравнение (19) получаем выражение для *первых* разностей

$$dP_{ABi} = \rho_{ABi} - N_{ABi}\lambda + \delta P_{AB} + \delta P_{ABi}. \quad (21)$$

Если в момент t наблюдается еще один спутник j , образуем для него уравнение *первых* разностей

$$dP_{ABj} = \rho_{ABj} - N_{ABj}\lambda + \delta P_{AB} + \delta P_{ABj}. \quad (22)$$

Вычитая из уравнения (22) уравнение (21) получаем выражение для *вторых* разностей

$$dP_{ABij} = \rho_{ABij} - N_{ABij}\lambda + \delta P_{ABij}. \quad (23)$$

Если спутники i и j наблюдаются в два момента времени (эпохи) t_1 и t_2 , то записывая уравнения *вторых* разностей для обеих эпох и находя их разность, получаем уравнение *третьих* разностей

$$dP_{ABij}(t_1, t_2) = \rho_{ABij}(t_1, t_2) + \delta P_{ABij}(t_1, t_2). \quad (24)$$

Способы и режимы позиционирования

| АБСОЛЮТНЫЕ (Single point positioning) | ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ (DGPS, DGLONASS) | ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ | |
|---|--|---|---|
| | | Статические (Static positioning) | Кинематические (Kinematic positioning) |
| Реального времени (Real Time) <u>Точность</u> – десятки метров, в лучшем случае 3-5 метров | Реального времени (Real Time) <u>Точность</u> – десятки метров, в лучшем случае метры-дицметры | Статика (Static) <u>Точность</u> – сантиметры-миллиметры | Стой и иди (Stop and Go) <u>Точность</u> – сантиметры |
| Постобработка (Postprocessing) <u>Точность</u> – метры, в лучшем случае лучше метра | Постобработка (Postprocessing) <u>Точность</u> – десятки метров, в лучшем случае метры-дицметры | Быстрая статика (Fast, rapid static) <u>Точность</u> – сантиметры | Непрерывная (Continuous) <u>Точность</u> – сантиметры |
| | | Псевдостатика или реокупация (Pseudostatic, reoccupation) <u>Точность</u> – сантиметры | Реального времени (Real Time Kinematic-RTK) <u>Точность</u> – сантиметры |

Дифференциальное позиционирование



Дифференциальное позиционирование может осуществляться по кодовым и фазовым измерениям (RTK) в режиме реального времени

Трансляция поправок

δP_i



Потребители

Вычисление скорректированных псевдодальностей

$$dP_{Rover-j}^{Corr} = \delta P_j + dP_{Rover-j}^{Observ}$$

Контрольно-корректирующая (ККС) или базовая станция (БС)

Вычисление поправок (коррекций) к псевдодальностям

$$\delta P_j = dP_{KKS-j}^{Theor} - dP_{KKS-j}^{Observ}$$

DGPS системы по охвату территории делятся на:

- **Локальные** (создаются пользователем)
- **Региональные** (WAAS, EGNOS, MSAS, SNAS, OMNISTAR, RACALL)
- **Глобальные** (GDGPS (JPL NASA) и StarFire (NavCom))

Способы инициализации кинематики

Цель инициализации – разрешение неоднозначности фазовых измерений.

1). *По известной точке* (координаты которой в СК WGS-84 определены с точностью не хуже 5см).

2). *Статическая инициализация.*

3). *ON THE FLY* – на лету (может быть использована только с двухчастотными приемниками).

4). *ANTENNA SWAPPING* – способ перестановки антенн.

Особенности построения геодезических GPS/ГЛОНАСС сетей

Известное правило геодезии – «от общего к частному»
– полностью справедливо при проектировании и построении геодезических GPS/ГЛОНАСС сетей!

Методы построения геодезических GPS/ГЛОНАСС сетей

```
graph TD; A[Методы построения геодезических GPS/ГЛОНАСС сетей] --> B[Сетевой метод]; A --> C[Лучевой метод];
```

Сетевой метод

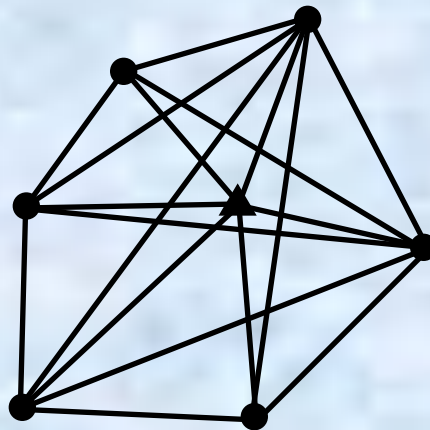
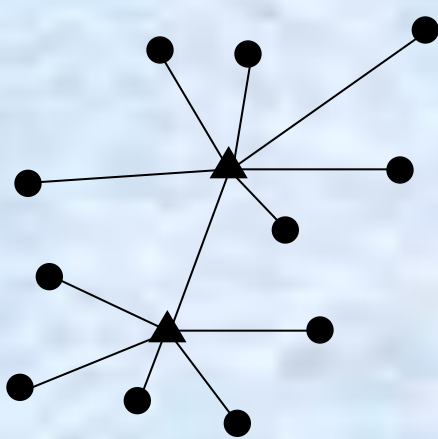
(требуется больших затрат временных и материальных ресурсов, а также денежных средств; обеспечивает наличие избыточных измерений)

Лучевой метод

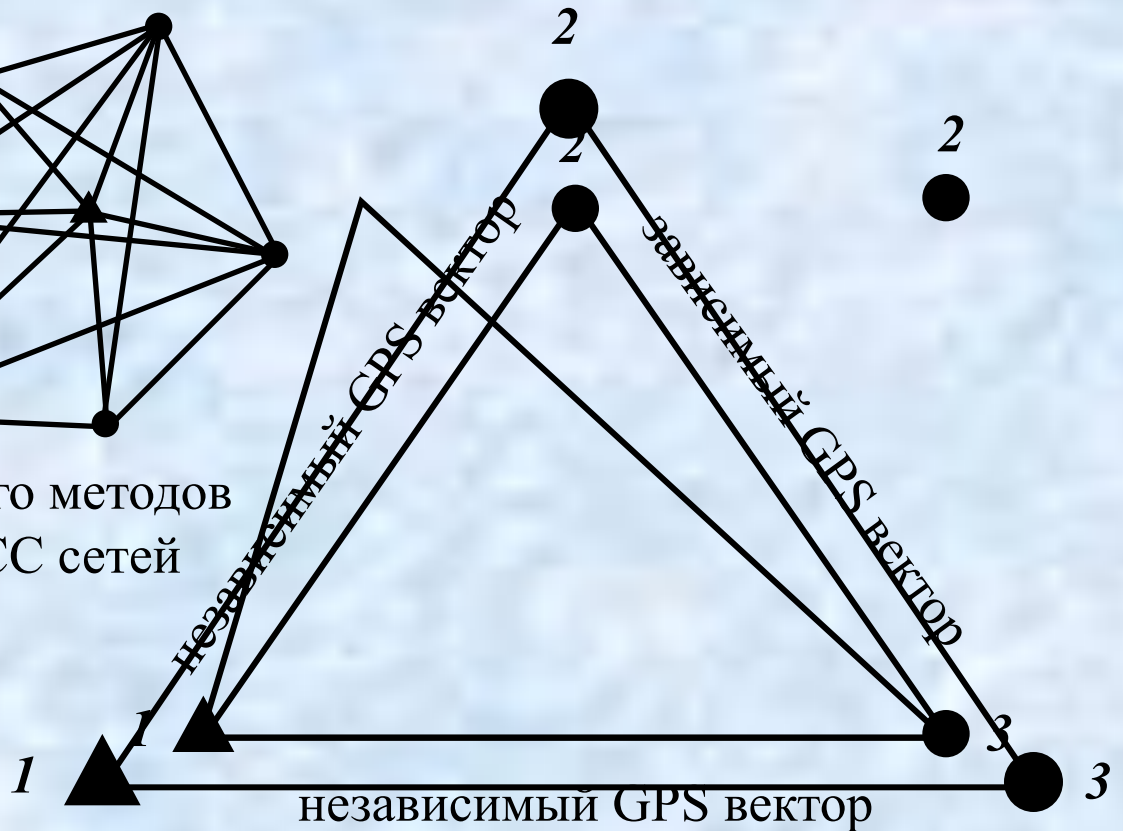
(более экономически выгоден, избыточные измерения отсутствуют)

Особенности построения геодезических GPS/ГЛОНАСС сетей

Необходимо стремиться к выполнению независимых и однородных измерений в спутниковой сети, а также включению в ее состав достаточного количества избыточных измерений!



Примеры лучевого и сетевого методов построения GPS/ГЛОНАСС сетей



Общая концепция уравнивания GPS/ГЛОНАСС сетей

Пусть измерено n величин, истинные значения которых X_1, X_2, \dots, X_n , а измеренные значения равны x_1, x_2, \dots, x_n , причем количество измерений n избыточно по отношению к числу определяемых параметров r .

Теоретически имеем

$$\begin{aligned}\varphi_1(X_1, X_2, \dots, X_n) &= 0, \\ &\dots\end{aligned}\quad (29)$$

$$\varphi_r(X_1, X_2, \dots, X_n) = 0.$$

Практически имеем

$$\begin{aligned}\varphi_1(x_1, x_2, \dots, x_n) &= W_1, \\ &\dots\end{aligned}\quad (30)$$

$$\varphi_r(x_1, x_2, \dots, x_n) = W_r.$$

Для того, чтобы устранить невязки W_1, W_2, \dots, W_r необходимо исправить измерения поправками v_1, v_2, \dots, v_n . Тогда получим

$$\begin{aligned}\varphi_1(x_1 + v_1, x_2 + v_2, \dots, x_n + v_n) &= 0, \\ &\dots\end{aligned}\quad (31)$$

$$\varphi_r(x_1 + v_1, x_2 + v_2, \dots, x_n + v_n) = 0.$$

Решение системы уравнений (31) выполняется по МНК под условием $[pv^2] = \min$, полагая, что ошибки измерений подчиняются нормальному закону распределения.

Среднеквадратические ошибки измерений, необходимые для вычисления априорных весов измерений, используемых при уравнивании, получают из выражений

$$\begin{aligned}\sigma_i &= a + bD_i \\ p_i &= (\sigma_0 / \sigma_i)^2.\end{aligned}$$

Условия, возникающие в GPS/ГЛОНАСС сетях

В качестве *измеренных величин* при уравнивании GPS/ГЛОНАСС сетей обычно используются компоненты базовых линий Δx_i , Δy_i , Δz_i .

В GPS/ГЛОНАСС сетях возникают следующие виды условий

$$\frac{n(n-1)}{2}$$

$$\sum_{i=1}^2 \Delta x_i = 0,$$

$$\frac{n(n-1)}{2}$$

$$\sum_{i=1}^2 \Delta y_i = 0,$$

$$\frac{n(n-1)}{2}$$

$$\sum_{i=1}^2 \Delta z_i = 0,$$

Замкнутый
векторный ход
(полигон)

$$\frac{n(n-1)}{2}$$

$$\sum_{i=1}^2 \Delta x_i - (x_{II} - x_I) = 0,$$

$$\frac{n(n-1)}{2}$$

$$\sum_{i=1}^2 \Delta y_i - (y_{II} - y_I) = 0,$$

$$\frac{n(n-1)}{2}$$

$$\sum_{i=1}^2 \Delta z_i - (z_{II} - z_I) = 0,$$

Векторный ход
между двумя
пунктами с
известными
координатами

Цели уравнивания геодезических GPS/ГЛОНАСС сетей

**Задача уравнивания возникает только при наличии
в сети избыточно измеренных величин!!!**

Цели уравнивания спутниковых измерений:

1. Поиск и исключение грубых ошибок в результатах измерений;
2. Оценка и соответствующее распределение случайных ошибок измерений.
3. Получение единственного набора значений определяемых параметров;
4. Оценка точности полученных значений определяемых параметров;

Виды ошибок GPS/ГЛОНАСС измерений

Грубые ошибки (промахи)

Примеры:

- ввод ошибочных координат пункта;
- ввод ошибочного названия пункта;
- ошибочное измерение высоты антенны;

Систематические ошибки

Примеры:

- влияния внешней среды при непродолжительных сеансах наблюдений (многолучевость, атмосферная рефракция и т. д.);
- указание неправильного метода измерения высоты антенны;

Случайные ошибки

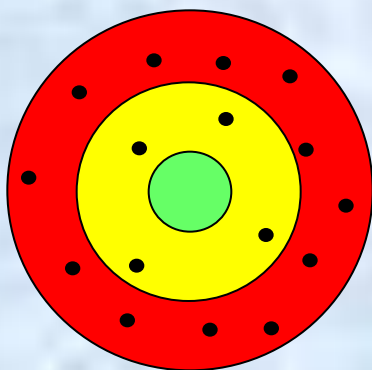
Примеры:

- атмосферная рефракция при длительных периодах измерений;

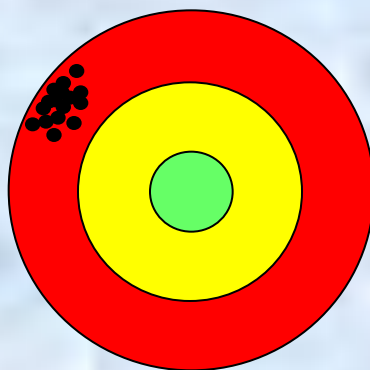
Абсолютная точность и внутренняя сходимость результатов GPS/ГЛОНАСС измерений

Абсолютная точность (accuracy) характеризует степень близости результатов измерений к их истинному значению.

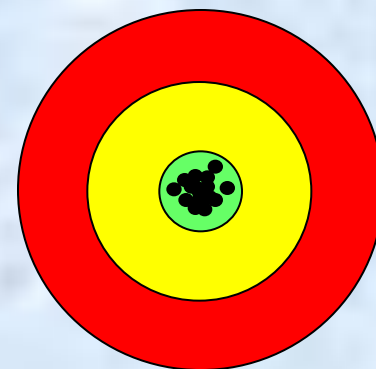
Внутренняя сходимость (precision) характеризует степень близости результатов измерений друг к другу или их среднему значению.



Плохая абсолютная
точность и
внутренняя
сходимость
результатов



Хорошая
внутренняя
сходимость, но
плохая абсолютная
точность
результатов



Хорошая
внутренняя
сходимость и
абсолютная
точность
результатов

Оценка точности компонент базовой линии по внутренней сходимости результатов GPS измерений

Baseline report - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Back Forward Stop Home Search Favorites Media Mail Print

Address C:\Trimble Geomatics Office\Projects\STUDENT\Reports\Baseline\FrameB3.html Go

[Back to Processing Summary](#)

[Baseline Summary](#)

[Baseline Components](#)

- [Standard Errors](#)
- [Covariance Matrix](#)

[Occupations](#)

[Tracking Summary](#)

[Residuals](#)

[Processing Style](#)

- [Static](#)
- [Kinematic](#)
- [Global](#)
- [Quality](#)
- [Tropo](#)
- [Iono](#)
- [Events](#)
- [OTF Search](#)

[Highlight in Trimble Geomatics Office](#)

| | | | | | |
|------------------|---------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| Northing | 45 16 51,910m | Latitude | 45 16 41,45362 N | Latitude | 45 16 41,45362 N |
| Easting | 28780,996m | Longitude | 131°54'55,18422"E | Longitude | 131°54'55,18422"E |
| Elevation | 126,693m | Height | 152,758m | Height | 152,758m |

| | | | | | |
|--------------------|------------|-----------------------|------------|------------|------------|
| Baseline: | | | | | |
| Δ Northing | -2123,051m | NS Fwd Azimuth | 202°05'47" | Δ X | -359,836m |
| Δ Easting | -863,621m | Ell. Distance | 2291,983m | Δ Y | 1691,052m |
| Δ Elevation | 61,983m | Δ Height | 61,996m | Δ Z | -1506,018m |

Standard Errors

| | | | | | |
|-------------------------|--------|-------------------------|---------------|--------------|--------|
| Baseline Errors: | | | | | |
| σ Δ Northing | 0,001m | σ NS Fwd Azimuth | 0,034 seconds | σ Δ X | 0,001m |
| σ Δ Easting | 0,000m | σ Ell.Distance | 0,000m | σ Δ Y | 0,002m |
| σ Δ Elevation | 0,003m | σ Δ Height | 0,003m | σ Δ Z | 0,002m |

Aposteriori Covariance Matrix

| | | | |
|----------|------------|-----------|-----------|
| | X | Y | Z |
| X | 2,182e-6m | | |
| Y | -2,230e-6m | 2,505e-6m | |
| Z | -2,649e-6m | 2,882e-6m | 3,791e-6m |

Поправки, нормальное распределение поправок, нормированные поправки

Поправка – это разность между уравненным значением измеряемой величины и ее отдельным значением, полученным в ходе наблюдений или их обработки.

Нормированная поправка – это поправка деленная на среднеквадратическую ошибку ее определения.

$$\tau_i = \frac{\hat{v}_i}{\hat{\sigma}_i}. \quad (25)$$

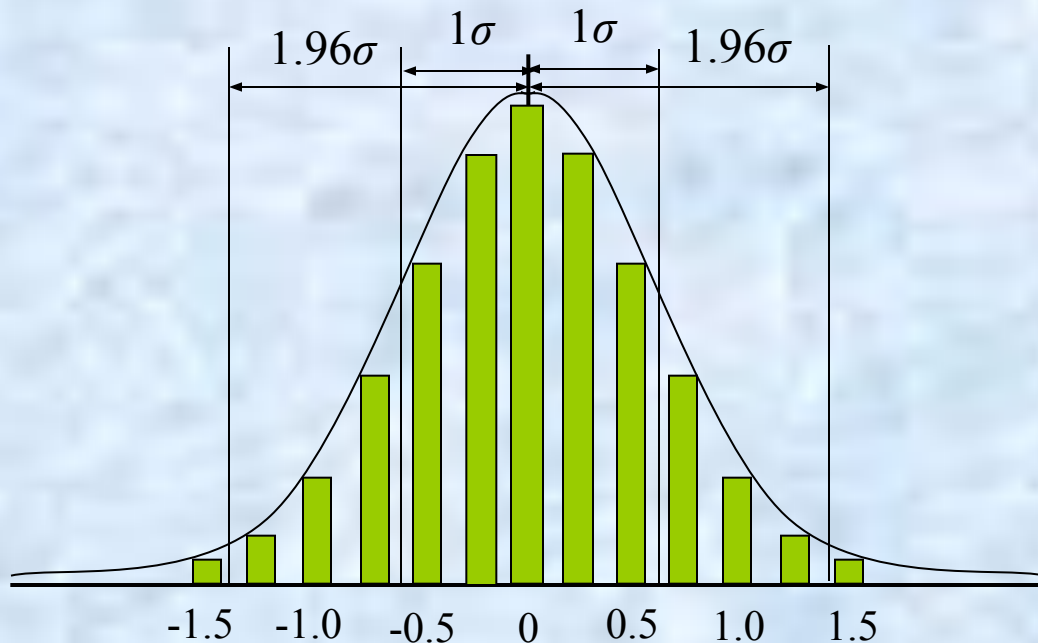


График нормального распределения поправок

Величина σ среднеквадратической ошибки уравненного значения искомой величины гарантирует, что при бесконечно большом количестве измерений, выполненных в одинаковых условиях, 68% всех возможных измеренных значений данной величины будут находиться в интервале $(-\sigma; \sigma)$.

Ковариационная матрица. Среднеквадратическая ошибка единицы веса (Reference Factor).

Структура ковариационной матрицы i -й базовой линии, полученная в результате постобработки GPS или ГЛОНАСС измерений

$$\mathbf{K}_{D_i} = \begin{pmatrix} \sigma_{\Delta x_i}^2 & r_{\Delta x_i \Delta y_i} \sigma_{\Delta x_i} \sigma_{\Delta y_i} & r_{\Delta x_i \Delta z_i} \sigma_{\Delta x_i} \sigma_{\Delta z_i} \\ r_{\Delta y_i \Delta x_i} \sigma_{\Delta y_i} \sigma_{\Delta x_i} & \sigma_{\Delta y_i}^2 & r_{\Delta y_i \Delta z_i} \sigma_{\Delta y_i} \sigma_{\Delta z_i} \\ r_{\Delta z_i \Delta x_i} \sigma_{\Delta z_i} \sigma_{\Delta x_i} & r_{\Delta z_i \Delta y_i} \sigma_{\Delta z_i} \sigma_{\Delta y_i} & \sigma_{\Delta z_i}^2 \end{pmatrix}. \quad (26)$$

Реально в результате постобработки или уравнивания GPS/ГЛОНАСС измерений непосредственно получается матрица весовых коэффициентов \mathbf{Q} и среднеквадратическая ошибка единицы веса σ_0 . Структура матрицы \mathbf{Q} для i -й базовой линии показана ниже

$$\mathbf{Q}_{D_i} = \sigma_0^{-2} \mathbf{K}_{D_i} = \begin{pmatrix} q_{\Delta x_i \Delta x_i} & q_{\Delta x_i \Delta y_i} & q_{\Delta x_i \Delta z_i} \\ q_{\Delta y_i \Delta x_i} & q_{\Delta y_i \Delta y_i} & q_{\Delta y_i \Delta z_i} \\ q_{\Delta z_i \Delta x_i} & q_{\Delta z_i \Delta y_i} & q_{\Delta z_i \Delta z_i} \end{pmatrix}, \quad (27)$$

$$\sigma_0 = \sqrt{\frac{\hat{\mathbf{V}}^T \mathbf{Q}_{D_i}^{-1} \hat{\mathbf{V}}}{n - k}}. \quad (28)$$

Математический смысл среднеквадратической ошибки единицы веса (СКОЕВ)

Можно показать, что:

- если $СКОЕВ=1$, ошибки уравненных измерений оценены совершенно точно, т.е. гарантируется корректность соотношения между поправками и их ошибками;
- если $СКОЕВ<1$, ошибки уравненных измерений переоценены;
- если $СКОЕВ>1$, ошибки уравненных измерений недооценены;

Важное замечание: если $СКОЕВ \gg 1$, в измерениях присутствует грубая ошибка (ошибки).

Результаты оценки точности компонент базовых линий (краткий отчет)

Baseline Summary - Microsoft Internet Explorer

File Edit View Favorites Tools Help

Address C:\Trimble Geomatics Office\Projects\STUDENT\Reports\Baseline\Summary.html

Distance Units Meters
Height Units Meters

Processing Summary

| ID | From | To | Baseline Length | Solution Type | Ratio | Reference Variance | RMS |
|---------------------|-------------|-------------|-----------------|-----------------|--------|--------------------|-------|
| B19 | ZVEROSOVHOZ | OKEANSKAYA | 4973,608m | L1 fixed | 5,844 | 16,013 | 0,013 |
| B13 | OKEANSKAYA | KARYERNAYA | 8149,643m | L1 fixed | 5,051 | 15,626 | 0,015 |
| B16 | ZVEROSOVHOZ | KARYERNAYA | 5899,830m | L1 fixed | 26,447 | 16,948 | 0,014 |
| B21 | ZVEROSOVHOZ | SEDANKA | 3693,701m | L1 fixed | 30,395 | 11,339 | 0,011 |
| B2 | VLADIVOSTOK | SEDANKA | 2388,803m | L1 fixed | 3,565 | 8,453 | 0,010 |
| B7 | VLADIVOSTOK | SEDANKA | 2388,778m | L1 fixed | 12,618 | 4,505 | 0,007 |
| B14 | SEDANKA | KARYERNAYA | 3886,828m | L1 fixed | 63,690 | 10,927 | 0,012 |
| B5 | VLADIVOSTOK | KARYERNAYA | 5924,663m | L1 fixed | 45,073 | 9,545 | 0,011 |
| B9 | VLADIVOSTOK | ZVEROSOVHOZ | 5233,436m | L1 fixed | 24,686 | 10,276 | 0,010 |
| B3 | VLADIVOSTOK | SHOSSE-NOV | 2292,865m | L1 fixed | 11,995 | 6,858 | 0,009 |
| B8 | VLADIVOSTOK | SHOSSE-NOV | 2292,859m | L1 fixed | 3,788 | 5,226 | 0,009 |
| B20 | SEDANKA | SHOSSE-NOV | 3553,484m | L1 fixed | 32,640 | 9,507 | 0,010 |
| B22 | SEDANKA | SHOSSE-NOV | 3553,516m | L1 fixed | 9,579 | 14,992 | 0,013 |
| B6 | VLADIVOSTOK | OKEANSKAYA | 10061,530m | iono free fixed | 3,791 | 5,179 | 0,025 |
| B15 | KARYERNAYA | SHOSSE-NOV | 5738,151m | L1 fixed | 30,918 | 13,253 | 0,014 |
| B17 | OKEANSKAYA | SEDANKA | 8072,636m | L1 fixed | 6,139 | 14,345 | 0,013 |
| B18 | OKEANSKAYA | SHOSSE-NOV | 11620,340m | iono free fixed | 8,058 | 5,646 | 0,025 |
| B24 | ZVEROSOVHOZ | SHOSSE-NOV | 7097,242m | L1 fixed | 3,194 | 15,848 | 0,013 |

[Back to top](#)

Схема расположения пунктов ФАГС (1999-2003гг.)

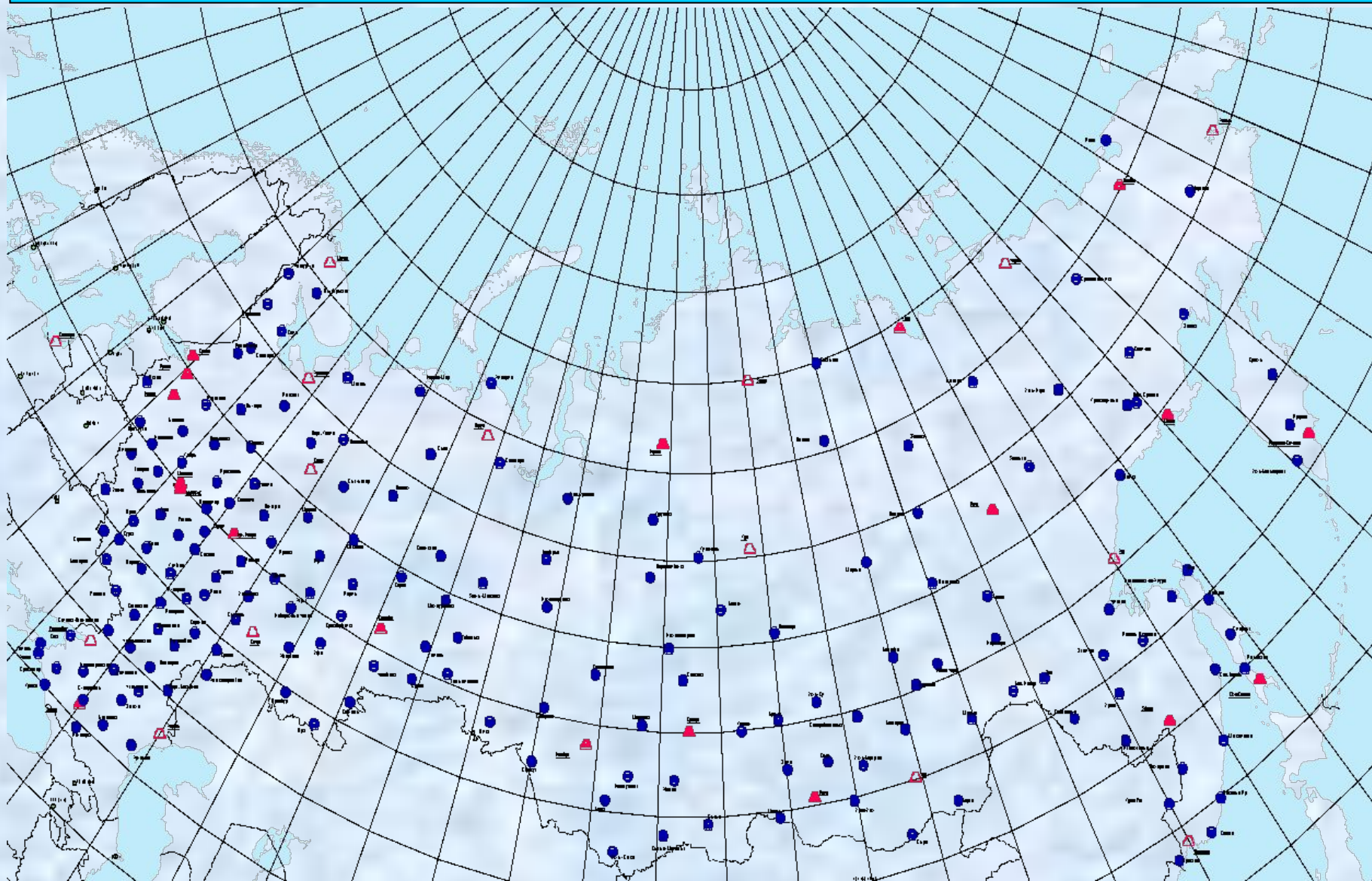


Схема расположения пунктов ФАГС (1999-2003гг.)

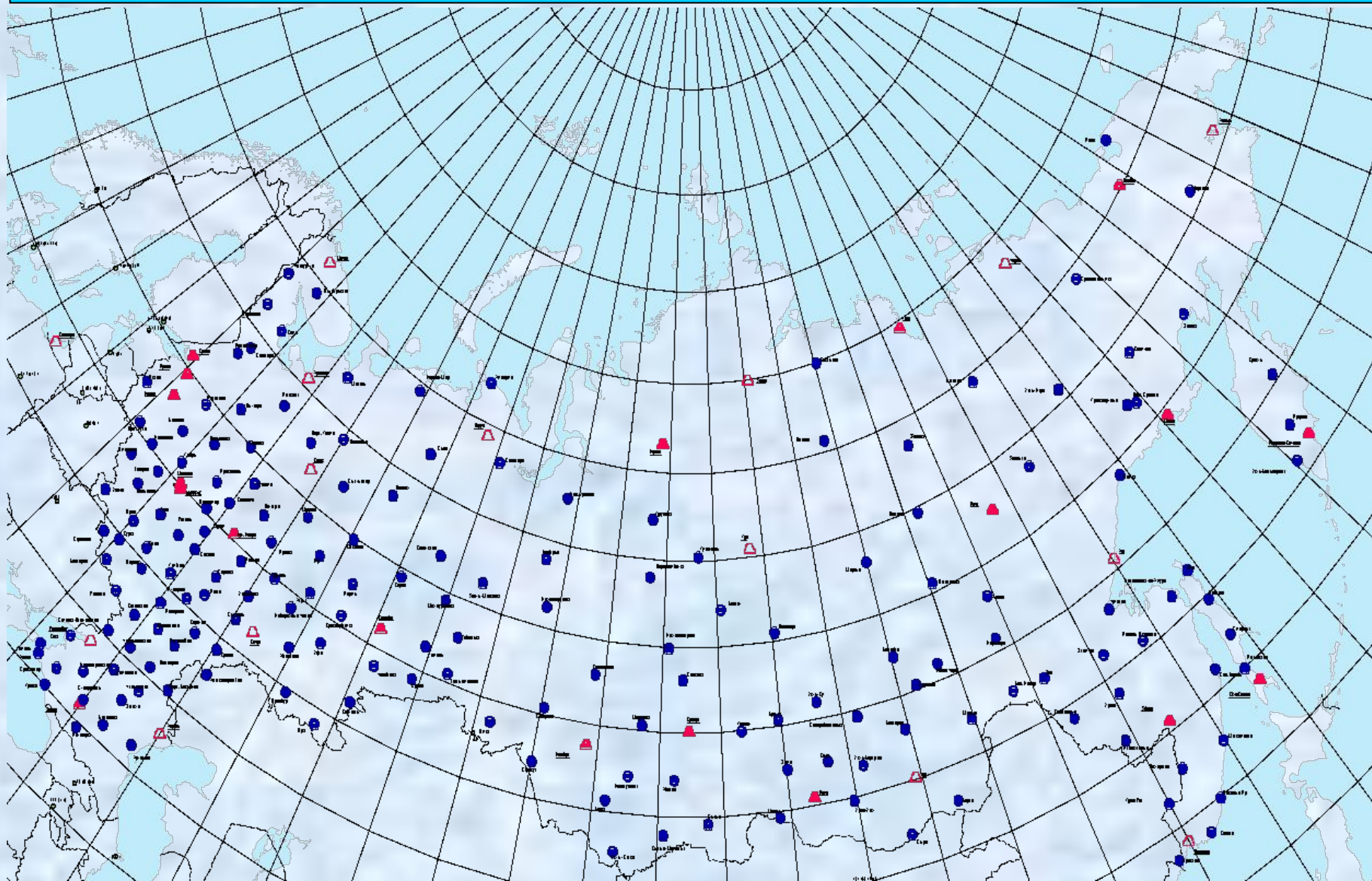
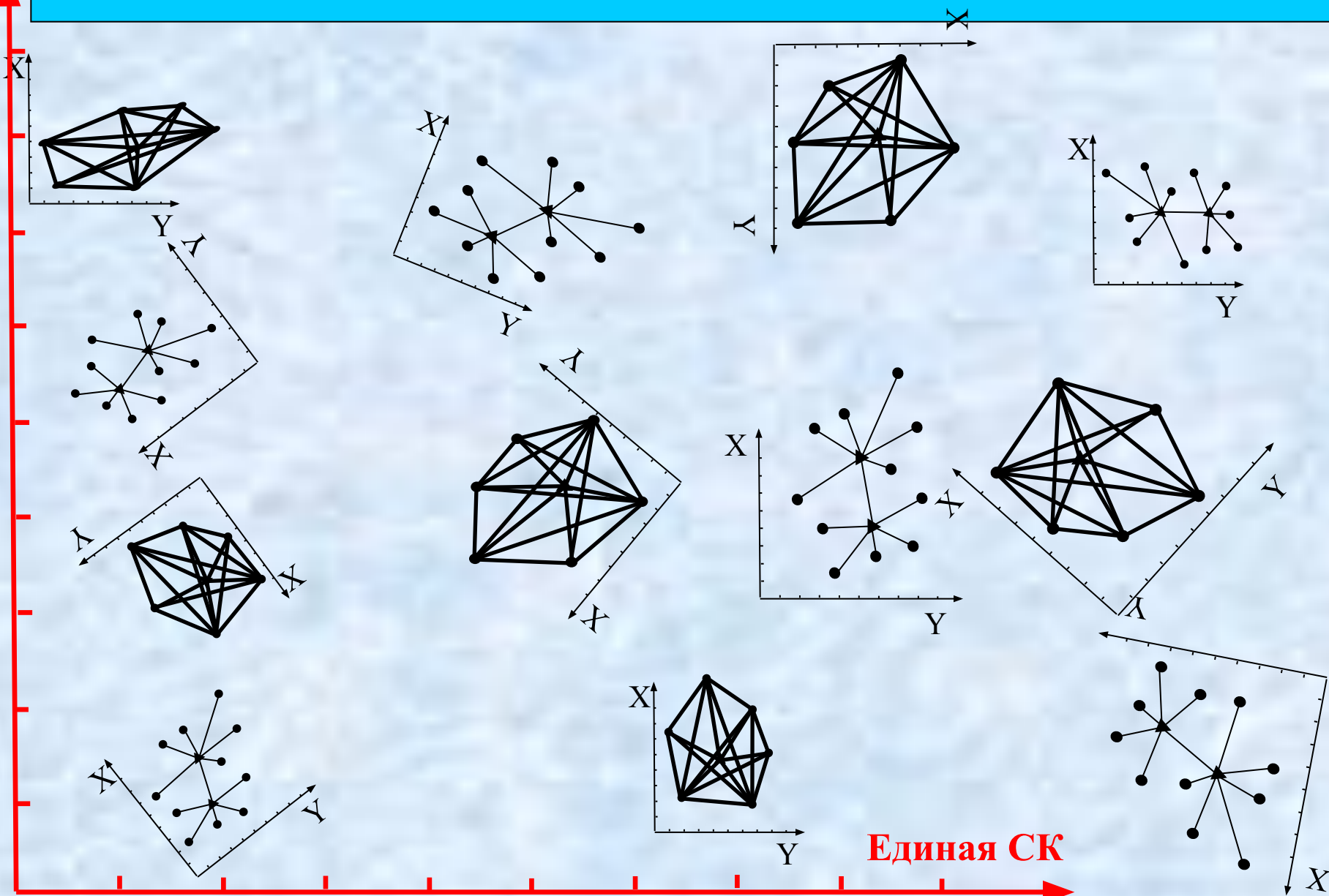


Схема расположения пунктов ОГС

Опорная гравиметрическая сеть (фундаментальная и I класса)



Существующий порядок обработки GPS измерений



Единая СК

«Идеальная» схема обработки GNSS измерений

Уравнивание сети в единой геоцентрической СК (например, ITRF2005)

Используется для:

- контроля качества и оценки точности выполненных GNSS измерений.
- получения высокоточных координат пунктов сети в единой общемировой СК
- хранения, сопоставления и обработки данных GNSS измерений, полученных в разных сетях, различным оборудованием и в разные эпохи наблюдений.



Перевычисление полученных данных в местные СК по точным формулам

Используется для:

- получения и оценки точности координат пунктов сети в системе координат пользователя;
- удобства дальнейшей обработки и представления ее результатов

Уравнивание геодезических GPS/ГЛОНАСС сетей



Свободное (минимально ограниченное) уравнивание

Используется для:

- контроля качества и оценки точности выполненных GPS/ГЛОНАСС измерений.



Полностью ограниченное уравнивание

Используется для:

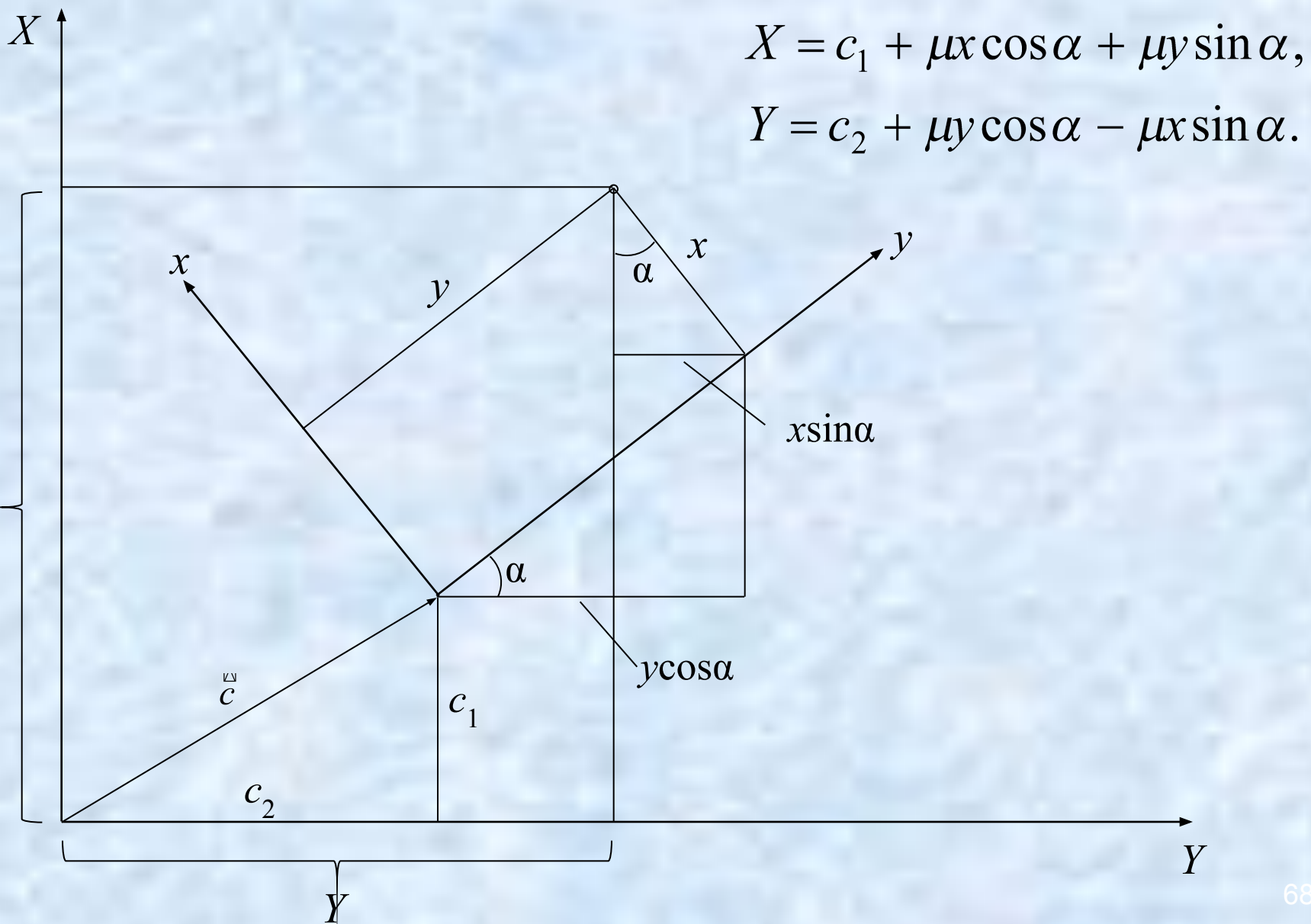
- получения и оценки точности координат пунктов сети в системе координат пользователя;
- проверки качества опорных пунктов, фиксирующих систему координат пользователя;
- определения параметров преобразования (трансформации) сети из системы координат WGS-84 в систему координат пользователя.

Трансформация результатов GPS/ГЛОНАСС измерений в заданную систему координат

Цель трансформации – преобразование результатов GPS/ГЛОНАСС позиционирования в заданную систему координат, определяемую пользователем.

Как правило, трансформация плановых координат и высот пунктов GPS/ГЛОНАСС сети осуществляется отдельно.

Трансформация плановых координат



Одна из возможных схем трансформации плановых координат из системы WGS-84 в систему координат пользователя

Преобразование геоцентрических координат пунктов (X, Y, Z) , определенных в системе координат WGS-84 (GPS) или ПЗ-90 (ГЛОНАСС), в геодезические координаты (B, L, H)



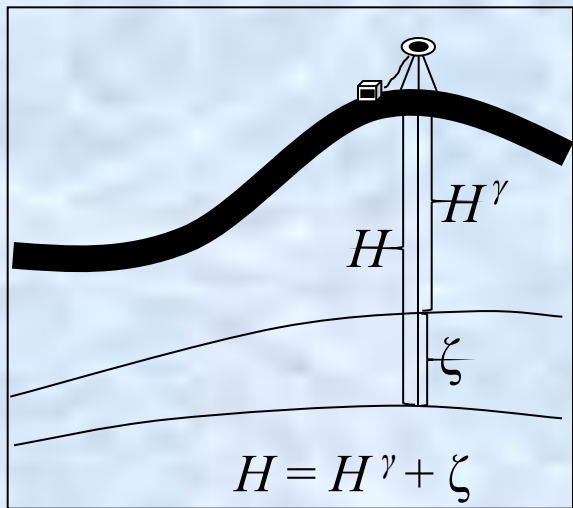
Преобразование геодезических координат пунктов (B, L) в плоские прямоугольные координаты (x, y) в требуемой проекции



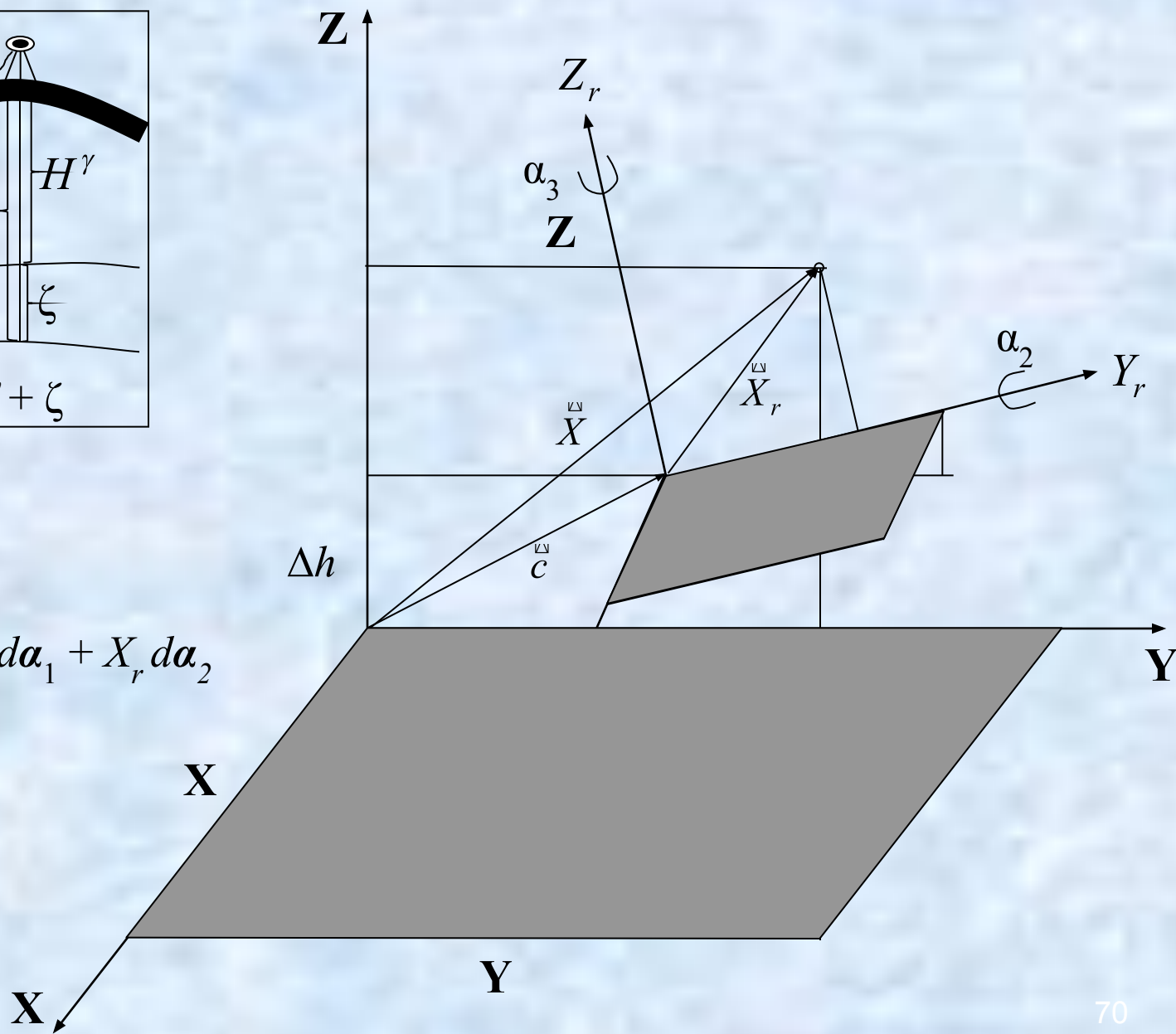
Вычисление по совмещенным пунктам параметров преобразования координат (x, y) в систему координат пользователя (разворот, масштабный коэффициент, смещение начал отсчета).

Для определения параметров преобразования требуется 2 совмещенных пункта. Если совмещенных точек больше, параметры преобразования определяются по МНК с оценкой точности.

Трансформация высот



$$H - H^\gamma = \Delta h - Y_r d\alpha_1 + X_r d\alpha_2$$



Одна из возможных схем трансформации высот из системы WGS-84 в систему координат пользователя

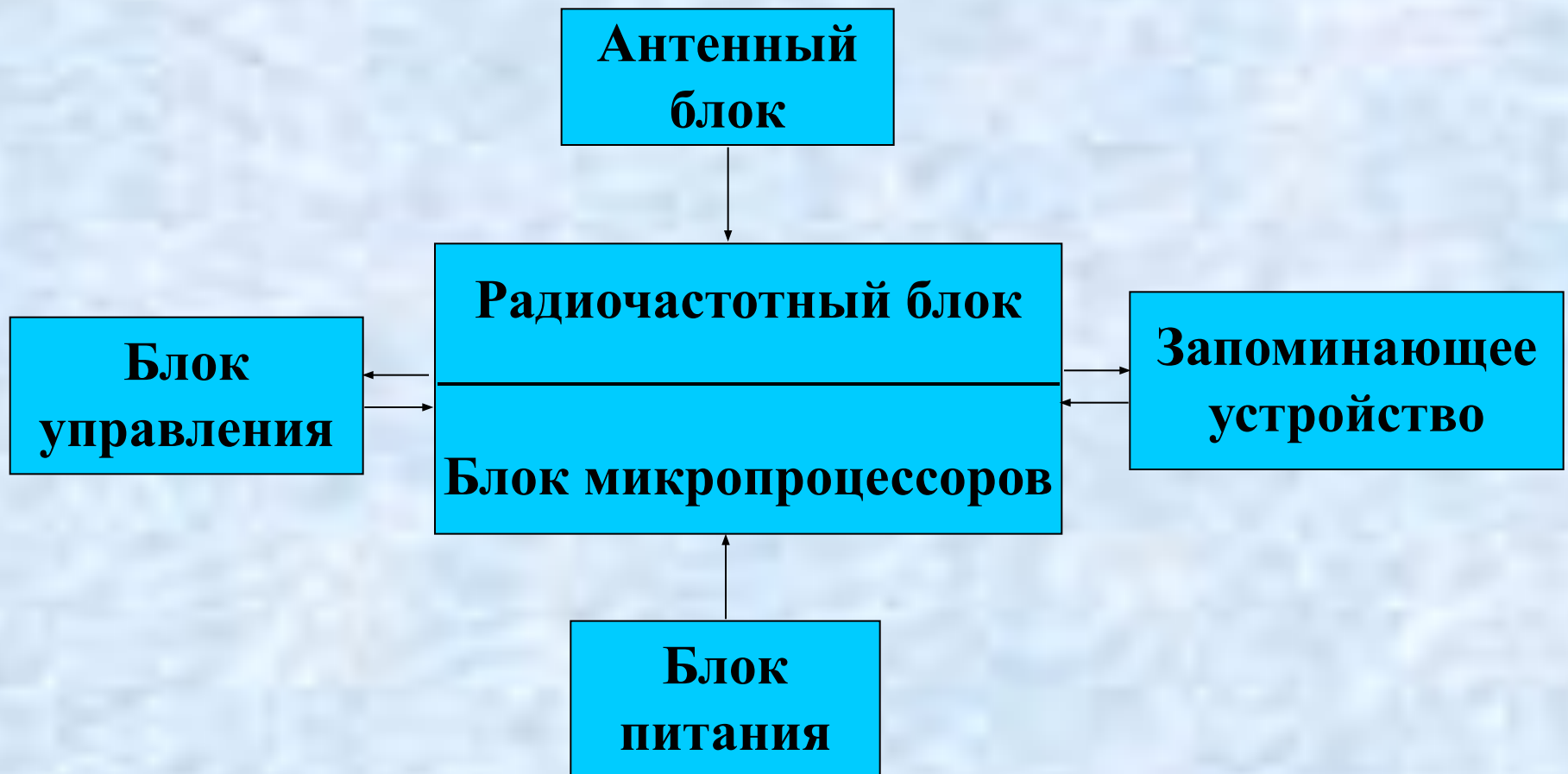
Преобразование геоцентрических координат пунктов (X, Y, Z) , определенных в системе координат WGS-84 (GPS) или ПЗ-90 (ГЛОНАСС), в геодезические координаты (B, L, H)



Вычисление по совмещенным пунктам параметров преобразования (два угла разворота, вертикальное смещение) геодезических высот H в нормальные высоты H' .

Для определения параметров преобразования требуется 3 совмещенных пункта. Если совмещенных точек больше, параметры преобразования определяются по МНК с оценкой точности.

Упрощенная принципиальная схема устройства и функционирования спутникового приемника



Классификация спутникового оборудования

Системная классификация.

- 1) Односистемные (обычно ориентированы на GPS);
- 2) Двухсистемные (GPS и ГЛОНАСС).

Классификация по видам принимаемого сигнала.

- 1) Кодовые (C/A-code), одночастотные;
- 2) Кодовые двухчастотные (C/A-code, P-code);
- 3) Кодово-фазовые одночастотные (C/A-code, P-code, фаза несущей L1);
- 4) Кодово-фазовые двухчастотные (C/A-code, P-code, фаза несущей L1 и L2).

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Общие рекомендации по выполнению геодезических GPS/ГЛОНАСС измерений

При практическом выполнении спутниковых наблюдений следует соблюдать следующие общие рекомендации:

- 1) Выполнять измерения в местах с наилучшим обзором небосвода и минимальным количеством препятствий, превышающих угол отсечки (маску), установленную в приемнике. Рекомендуемая величина маски 10° - 15° . Необходимо учитывать, что наименьшее количество спутников наблюдается в северной части небосвода.
- 2) Не производить наблюдений вблизи мощных источников радио-излучения близкого к GPS/ГЛОНАСС частотного диапазона.
- 3) Не производить наблюдений вблизи объектов, способных переотразить спутниковых сигнал (стены зданий, металлические решетчатые фермы, мачты и т.п., обширные водные поверхности).
4. Выбирать для наблюдений периоды с наибольшим количеством наблюдаемых спутников, имеющих максимальное возвышение над горизонтом.
5. Соответствующим образом увеличивать продолжительность сеанса наблюдений при уменьшении количества наблюдаемых спутников и увеличении длины наблюдаемой базовой линии.
6. При высокоточных измерениях всегда использовать штатные экраны-отсекатели для снижения воздействия многолучевости на результаты измерений (или антенны типа Choke-Ring), а также ориентировать антенну в северном направлении при помощи маркеров, нанесенных на ее поверхность.
7. При высокоточных измерениях очень тщательно (лучше дважды) измерять высоту антенны на геод. центром и корректно фиксировать метод измерения высоты (наклонная, вертикальная, до кромки экрана и т.д.).
8. При работе без контроллера тщательно записывать имя точки, моменты начала и конца наблюдений, высоту антенны и способ ее измерения, тип используемого приемника и антенны.

Параметры, которые необходимо контролировать при выполнении GPS/ГЛОНАСС измерений

- 1) Количество непрерывно отслеживаемых спутников (желательно чтобы их было 5-6 и больше);
- 2) PDOP (чем он меньше тем лучше).
Желательно, чтобы его величина PDOP находилась в пределах 1-3.
- 3) Количество эпох наблюдений по каждому отслеживаемому спутнику (позволяет выявить срывы цикла).
- 4) Продолжительность сеанса наблюдений.

www.trimble.com – официальный сайт компании Trimble;
<http://trl.trimble.com/dscgi/ds.py/Get/File-29893/SetupPlanning.exe> –
программа для планирования GPS наблюдений;
<ftp://ftp.trimble.com/pub/eph/current.ssf> – альманах (постоянно
обновляется);
<https://www.schriever.af.mil/gps/Current/current.alm> – альманах
(постоянно обновляется);
<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/index.shtml> – NGS калибровка
GPS/GLONASS антенн;
<http://www.navcen.uscg.gov/Ftp/gps/status.txt>