

**ТЕМА 1. КАРТОГРАФО-
ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
КАДАСТРА И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА**

**ЛЕКЦИЯ 6. ГЛОБАЛЬНЫЕ
НАВИГАЦИОННЫЕ
СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ
(ЧАСТЬ 2)**

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. Генике, А. А. Глобальная спутниковая система определения местоположения GPS и ее применение в геодезии / А.А. Генике, Г.Г. Побединский.– М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 1999. – 272 с.
2. Назаров. А.С. Координатное обеспечение топографо-геодезических и земельно-кадастровых работ. – Минск. - Учеб. центр по повышению квалификации и перепод. землеустроит. и картографо-геод. службы.–2008. – 83с.
3. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных систем ГЛОНАСС и GPS, ГКИНП (ОНТА)-02-262-02, Москва, ЦНИИГАиК 2002г.

ПЛАН ЛЕКЦИИ:

1. Относительное позиционирование на основе фазовых спутниковых измерений:


1.1. Первые разности фазовых измерений.

1.2. Вторые разности фазовых измерений.

1.3. Третьи разности фазовых измерений.

2. Разрешение неоднозначности фазовых измерений.

3. Источники погрешностей при спутниковых измерениях.



1. Относительное позиционирование на основе фазовых спутниковых измерений

При выполнении **фазовых измерений** несущих колебаний спутниковыми приемниками **определяемой величиной** является **фаза принимаемых от спутника несущих колебаний**, которая **сравнивается с фазой** соответствующих колебаний, **генерируемых в приемнике.**

Представим текущую фазу несущих колебаний, поступающих от спутника $\Phi_s(t)$ и текущую фазу несущих колебаний в приемнике

$\Phi_p(t)$ следующим образом:

$$\Phi_s(t) = f_s(t - \tau) + f_s \delta t_s$$

$$\Phi_p(t) = f_p t + f_p \delta t_p$$

где f_s и f_p – частота несущих колебаний,
возбуждаемых в спутниковой аппаратуре и в
приемнике соответственно, отнесенная к
моменту выполнения измерений;
 τ - время прохождения несущими колебаниями
расстояния между спутником и приемником;
 δf_s и δf_p – уход показаний часов на спутнике и в
приемнике соответственно.

Необходимо определить **полный фазовый сдвиг между колебаниями**, который описывается соотношением:

$$\begin{aligned}\Delta\Phi &= \Phi_s(t) - \Phi_p(t) = \\ &= -f_s \tau + f_s \delta t_s - f_p \delta t_p + (t_s - t_p)t\end{aligned}$$

При **фазовых измерениях** удастся измерить **фазовый сдвиг** только в пределах **одного периода**, тогда

$$\Phi = N - \Delta\Phi,$$

где **N** и **$\Delta\Phi$** – целое число фазовых циклов, укладываемых в измеряемом расстоянии и измеряемое в приемнике значение разности фаз соответственно.

Если принять $f_s \approx f_p = f$, и значение скорости в вакууме c , и соответствующую поправку за влияние атмосферы $\delta_{атм}$, формула ($\Delta\Phi$) может быть представлена следующим

образом:

$$\Delta\Phi = -f_s p / c + N + (\delta t_p - \delta t_s) f + f \delta t_{атм}$$

Откуда измеренное расстояние p :

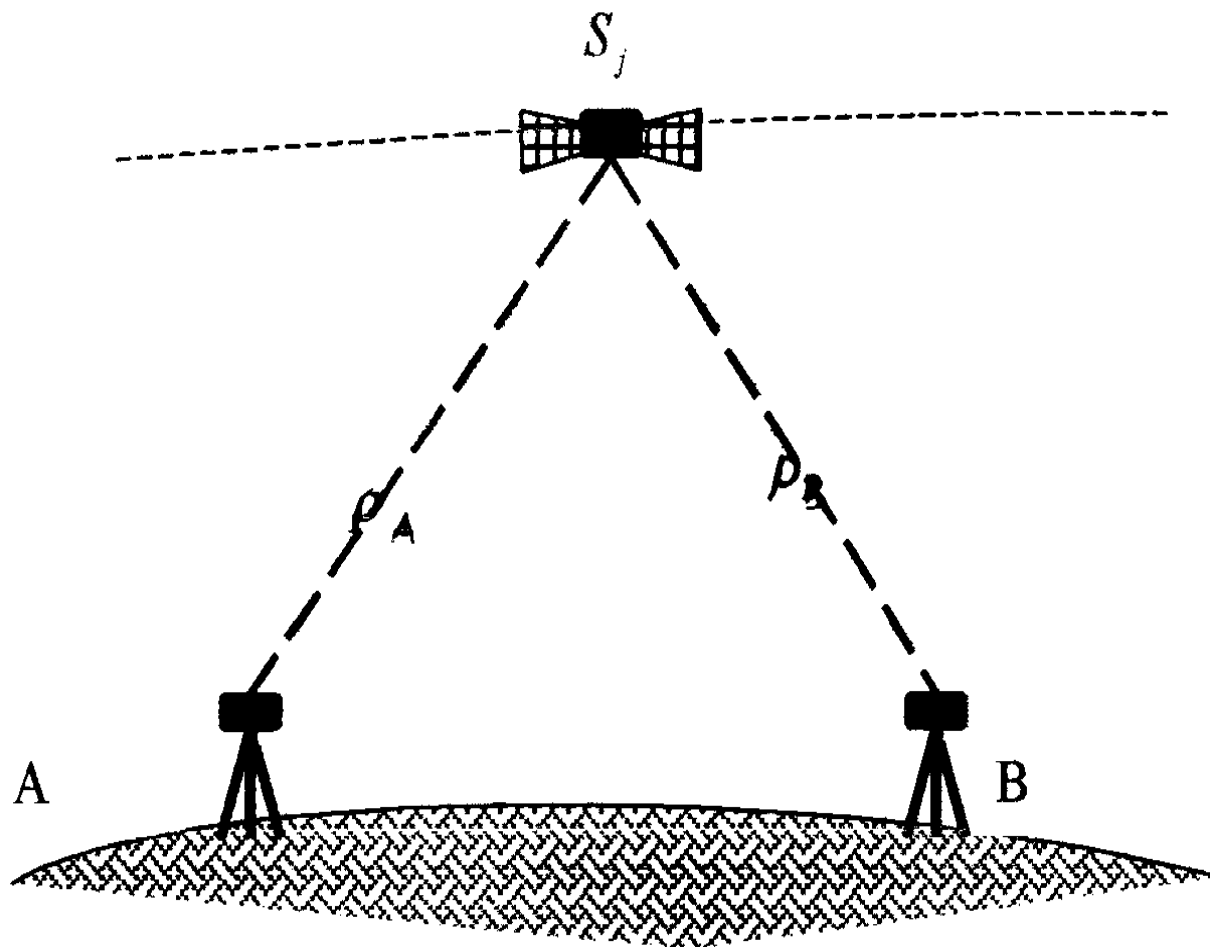
$$p = \lambda(N - \Delta\Phi) + c(\delta t_p - \delta t_s) + c\delta t_{атм}'$$

где $\lambda = \frac{c}{f}$ - длина волны несущих колебаний.

Для определения величины ρ на сантиметровом (миллиметровом) уровне точности, необходимо определять с высокой точностью все поправки входящие в формулу, а также располагать надежными методами нахождения величины N , соответствующей целому числу длин волн.

1.1. Разработаны методы, базирующиеся на определении разностей снимаемых отсчетов. Первые разности фазовых измерений можно получить двумя способами: образованием разностей фазовых измерений между станциями (рис.) и разностей между спутниками (рис.).

Образование первых разностей фазовых измерений между станциями



Разность фаз описывается соотношением:

$$\begin{aligned} \delta\Phi_{AB}^j = \Delta\Phi_B^j - \Delta\Phi_A^j = & \frac{1}{\lambda} (\rho_A^j - \rho_B^j) + (N_A^j - N_B^j) + \\ & + f(\delta't_{PA} - \delta't_{PB}) + f(\delta't_{Aатм}^j - \delta't_{Bатм}^j) \end{aligned}$$

где ρ_A^j и ρ_B^j - геометрические расстояния между спутником S_j и приемниками, установленными соответственно в точке А и В;

N_A^j и N_B^j - целые числа фазовых циклов,

укладывающихся в измеряемых расстояниях от спутника S_j до точек А и В;

$\delta' t_{РА}$ и $\delta' t_{РВ}$ – отклонение показателей часов приемников, установленных в точках А и В, относительно времени систем;

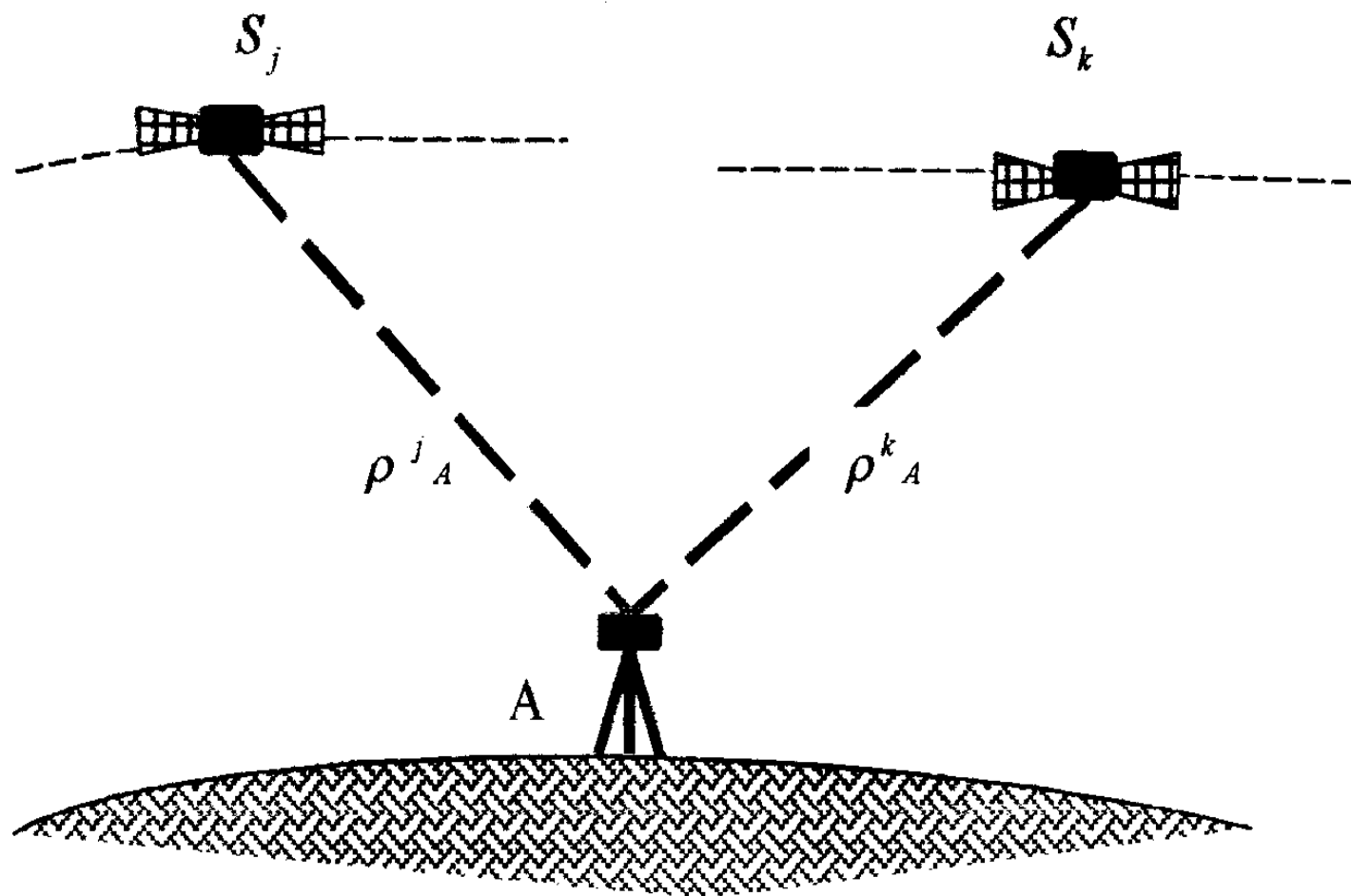
$\delta' t_{Аатм}$ и $\delta' t_{Ватм}$ - атмосферные временные задержки при прохождении радиосигналов от спутника S_j соответственно до приемников, установленных в точках А и В.

При образовании **первой разности** измерений между станциями удается **исключить ошибку**, связанную с уходом показаний часов на спутнике δt_s , а также ослабить влияние атмосферы.

При реализации **второго принципа** с помощью приемника установленного в точке **A** одновременно наблюдается не менее двух спутников S_j и S_k (рис.).

Особенность этого метода состоит в том, что удастся **исключить поправки**, обусловленные неточностью показаний часов приемника δt_p , но **не исключенными** оказываются ошибки показаний часов на спутнике δt_s .

Образование первых разностей фазовых измерений между спутниками

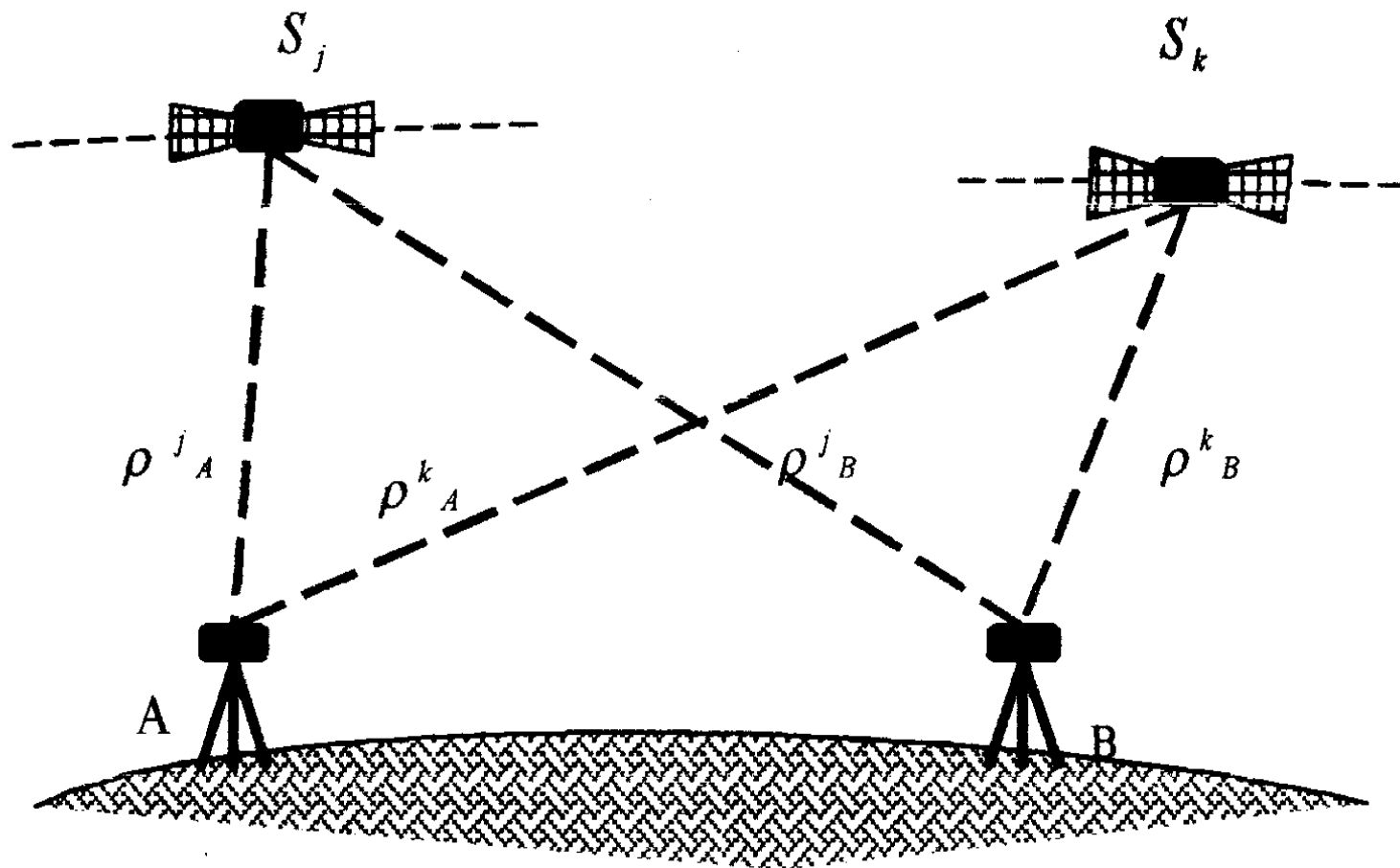


Разность фаз $\delta \Phi_A^{jk}$ описывается соотношением:

$$\delta \Phi_A^{jk} = \Delta \Phi_A^k - \Delta \Phi_A^j = \frac{1}{\lambda} \left(\rho_A^K - \rho_A^j \right) + \left(N_A^K - N_A^j \right) + f(\delta' t_s^k - \delta' t_s^j) + f(\delta' t_{\text{Аатм}}^k - \delta' t_{\text{Аатм}}^j)$$

На основе **совместного использования этих двух разновидностей первых разностей** фазовых измерений предложен вариант относительных определений с использованием **двойных разностей**.

1.2. Образование вторых разностей фазовых измерений



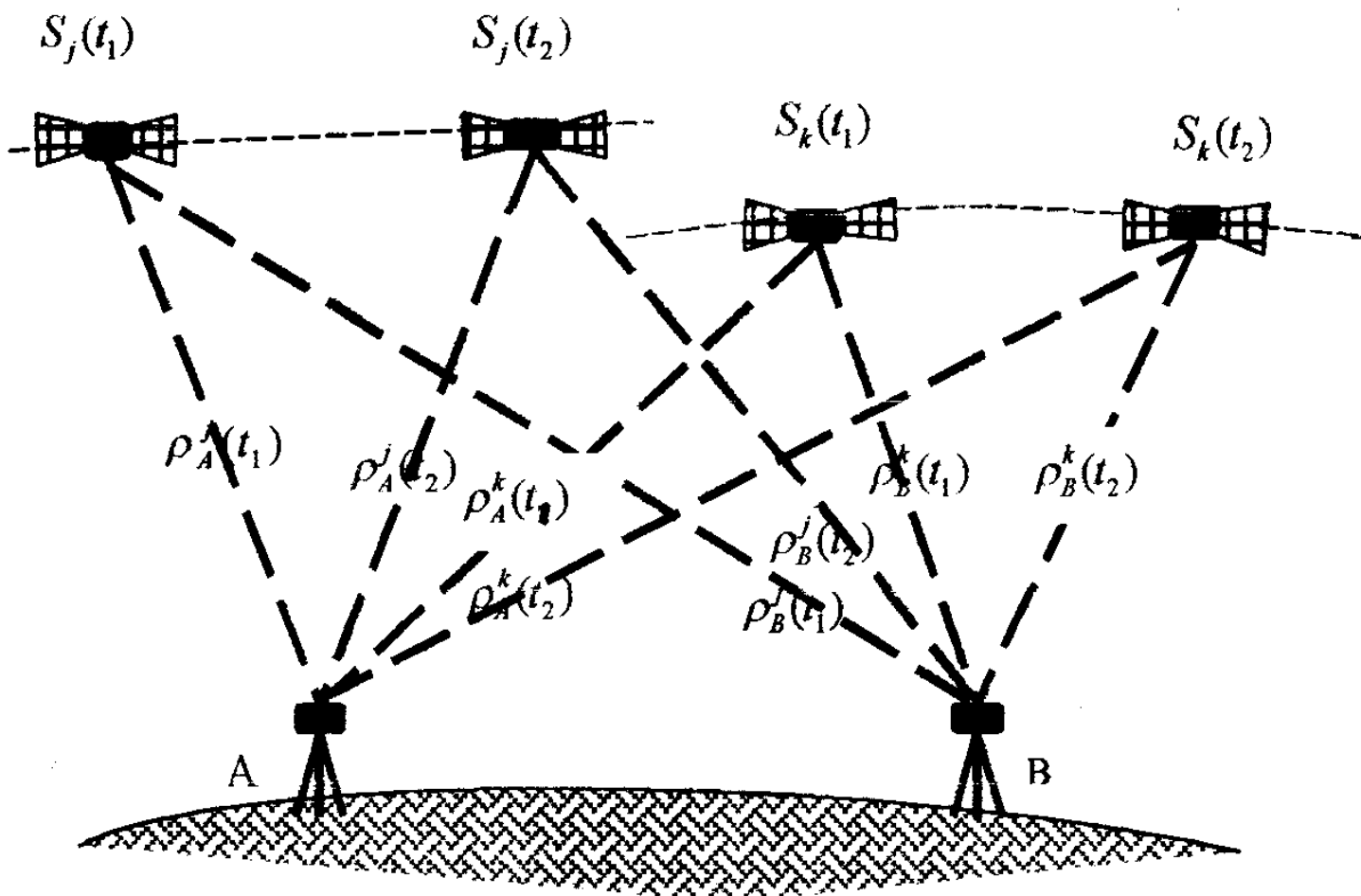
Сущность метода: измерения производятся **не менее**,
чем **двумя приемниками**, с помощью которых
наблюдается **не менее двух спутников**(рис.).

При образовании вторых разностей из результатов
измерений **исключаются** нестабильности хода
часов на спутниках δt_s и в приемниках δt_p .

Проблема раскрытия неоднозначностей измеряемых
расстояний не решена, т. е. нахождения количества
целых циклов N .

1.3. Третьи разности спутниковых фазовых измерений формируются в результате разности вторых разностей измерений, относящихся к одним и тем же сочетаниям участвующих в измерениях приемников и наблюдаемых спутников, но к различным эпохам (т.е. к моментам измерений t_i при движении спутников по своим орбитам).

Образование третьих разностей фазовых измерений



При образовании **третьих разностей** фиксируют **не абсолютные значения расстояний** от приемников до спутников, а **их приращения** при перемещении по своей орбите за некоторое время.

Вместо полных значений фазовых циклов **N** , которые соответствуют прохождению радиосигналов расстояния от спутника до приемника, **регистрируются их приращения** обусловленные изменениями расстояний до спутников за упомянутое время.

Третьи разности позволяют выполнять разрешения неоднозначностей за счет нахождения полных значений фазовых циклов N по их приращениям.

Этот подход используется только в качестве вспомогательного метода для разрешения неоднозначностей фазовых измерений из-за невысокой точности.



2.РАЗРЕШЕНИЯ НЕОДНОЗНАЧНОСТИ ФАЗОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

При определении расстояний до спутников фазовыми методами возникает проблема разрешения неоднозначности, т. е. нахождения целого числа длин волн, укладываемых в измеряемой длине линии от спутника до приемника.

Наиболее распространенные **методы разрешения неоднозначностей**, характерных для спутниковых GPS измерений:

- 1) геометрический метод;
- 2) метод, базирующийся на комбинации кодовых и фазовых измерений;
- 3) метод поиска наиболее вероятных значений величины N ;
- 4) нетривиальные методы разрешения неоднозначности.

1. Геометрический метод

Сущность данного метода : после захвата радиосигнала и начала фазовых измерений непрерывно отслеживаются целочисленные изменения фазы, т. е. циклы.

Неизвестная начальная величина.

Надежность нахождения величины N зависит от длительности наблюдения спутника (чем больше эта длительность, тем надежнее определяется искомая величина N).

Положительные стороны - простоту и четкость постановки задачи, возможность его применения при работе на одной несущей частоте, быстрое достижение поставленной цели.

Негативные стороны - рекомендации, связанные с увеличением длительности сеанса наблюдений, влияние недостаточно полно исключенных систематических погрешностей, обусловленных атмосферой, положением спутника на орбите и др., а также необходимость предварительного выявления и последующего устранения пропуска фазовых циклов.

2. Метод комбинированного использования кодовых и фазовых измерений.

Реализация данного метода базируется на совместном применении двухчастотных фазовых и кодовых измерений.

Положительные стороны данного метода -
независимость полученных результатов от
геометрии расположения спутников,
возможность его использования в
кинематическом режиме с применением
широкой дорожки, а также возможность
разрешения неоднозначностей для базисных
линий различной протяженности (в том числе
и очень длинных).

Недостатки - необходимость использования двухчастотных приемников, имеющих доступ к Р-коду, чувствительность к отдельным, не учитываемым в процессе наблюдений источникам, недостаточно высокая надежность определения значений N_{L1} и N_{L2} на основных несущих частотах.

3. Метод поиска наиболее вероятных значений N

При выполнении спутниковых наблюдений с двух расположенных на земной поверхности неподвижных пунктов расстояние между этими пунктами в процессе проведения сеанса наблюдений остается неизменным, а следовательно, и число длин волн, укладывающихся на этом расстоянии, также является постоянным.

Метод поиска широко применяется и на линиях повышенной протяженности.

Позитивные стороны :

- 1) достаточно высокая надежность разрешения неоднозначностей, характерных для фазовых измерений несущих колебаний;
- 2) сравнительно быстрое решение поставленной задачи (например, при использовании метода «Быстрая статика»);

3) возможность использования при точных кинематических применениях системы;

4) универсальность, позволяющая производить разрешение неоднозначности при работе как с двух частотными, так и с одночастотными GPS приемниками

Недостатки:

- 1) чувствительность к наличию неисключенных систематических ошибок;
- 2) использование при наблюдениях максимального количества спутников, что повышает эффективность применения данного метода;
- 3) недостаточно высокая надежность критериев, по которым оценивается правильность разрешения неоднозначности.

4. Нетривиальные методы разрешения неоднозначности

Объединение различных методов позволяет не только продублировать процесс разрешения неоднозначности, но и удачно дополнять друг друга.


К нетривиальным методам разрешения неоднозначности может быть отнесен так называемый метод «реоккупации» .

При методе «реоккупации» наблюдения на выбранных пунктах производятся **дважды** с некоторым разносом во времени (как правило, не менее 1 -2 часов).

При обработке такие данные объединяются, что позволяет не просто **получить повышенный объем информации**, но и **использовать суммарное количество спутников** с отличающейся геометрией их расположения.



3. ИСТОЧНИКИ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ



Точность позиционирования зависит от погрешностей хода часов спутника и приемника, точности определения орбит, инструментальных ошибок приемника, условий прохождения сигнала через ионосферу и тропосферу, отражения радиолуча от объектов местности, геометрического положения спутника и пр.

Источник ошибок

Величина ошибки

1. Эфемериды спутника (с учетом зашумления сигнала в режиме SA)	20-50 м
2. Показания часов спутника (с учетом зашумления сигнала в режиме SA)	10-50 м
3. Ионосфера (1-частотный приемник)	2-100 м
Ионосфера (2-частотный приемник)	2-100 дм
4. Тропосферы	2-100 дм
5. Влияние отраженных сигналов	5 см
6. Шумы при измерениях	1-10 м
7. Задержка сигнала в аппаратуре	1-10 мм
8. Смещение фазового центра антенны	1-10 см

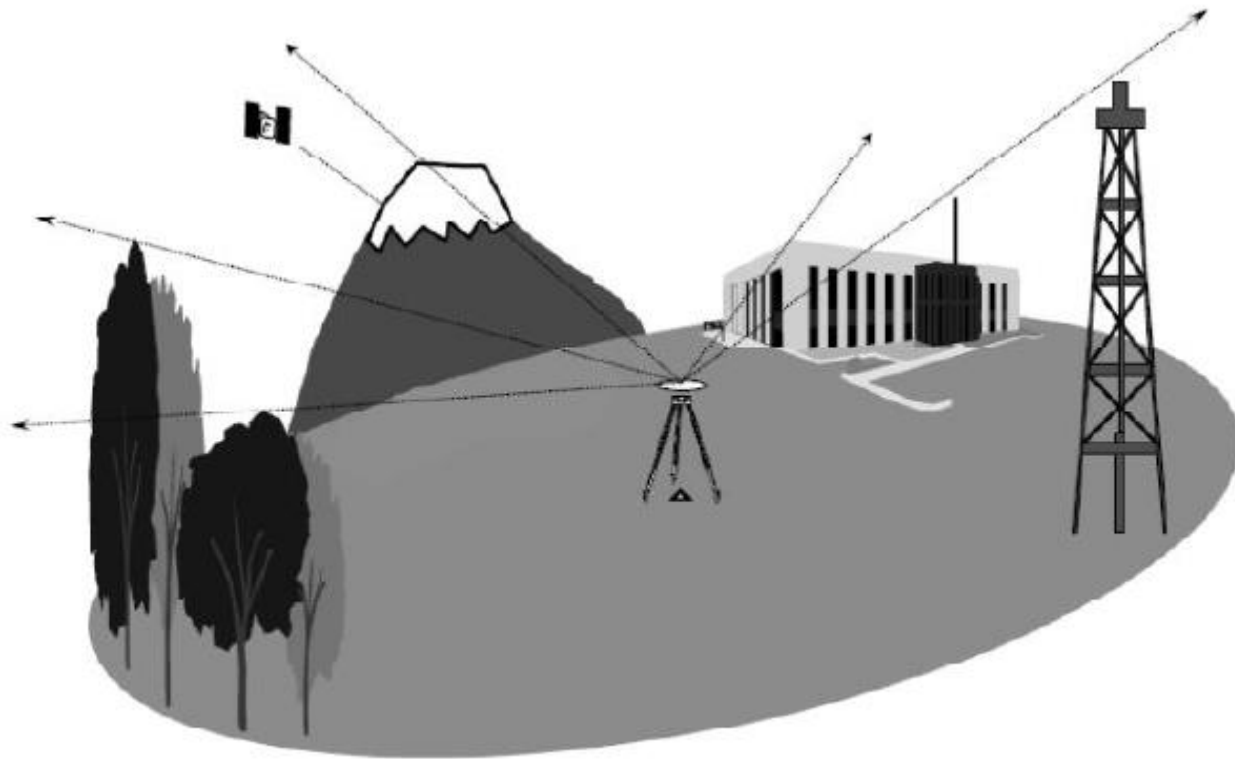
Влияние некоторых источников может быть **учтено**
в процессе обработки измерений:

- **задержки сигнала**, вызванные влиянием ионосферы в диапазоне высот 50-500 км и зависящие от частоты радиосигнала, могут быть уменьшены применением двухчастотных приемников;
- компенсация **тропосферных задержек** выполняется на основе модели этого слоя, по данным навигационных сообщений;

- **искажение эфемерид и показаний часов** в режиме SA устраняются при использовании методов относительного позиционирования.

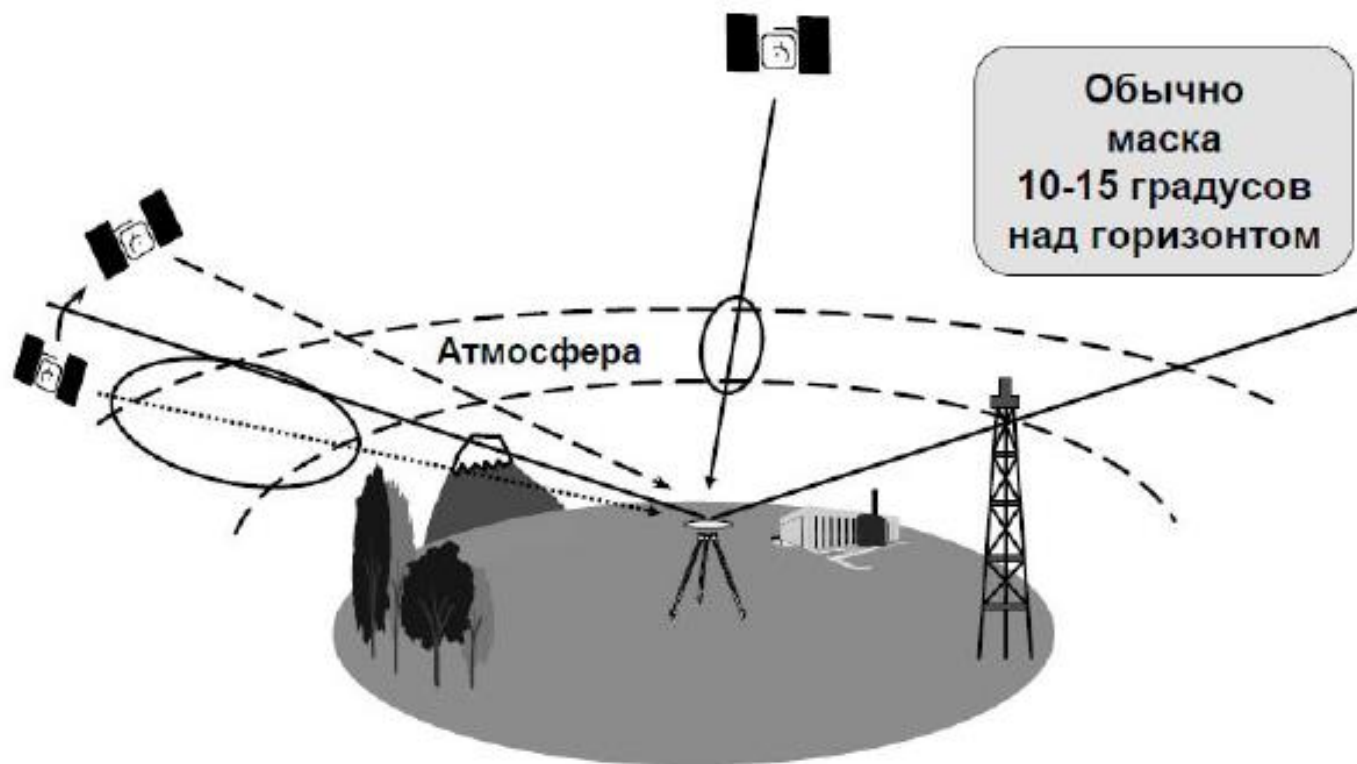
Учитываются и иные факторы, снижающие точность определения координат, если модели их влияния с той или иной степенью известны (вращение Земли, поправка за высоту антенны, влияние многолучевости, релятивистский эффект).

Препятствия для распространения сигналов ГНСС



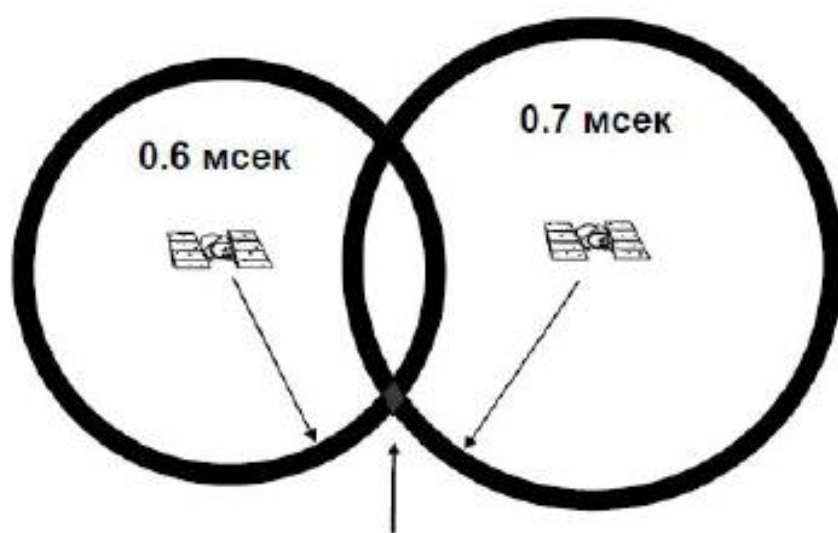
Влияние угла отсечки (маски возвышения) на геометрию созвездия

Маска возвышения

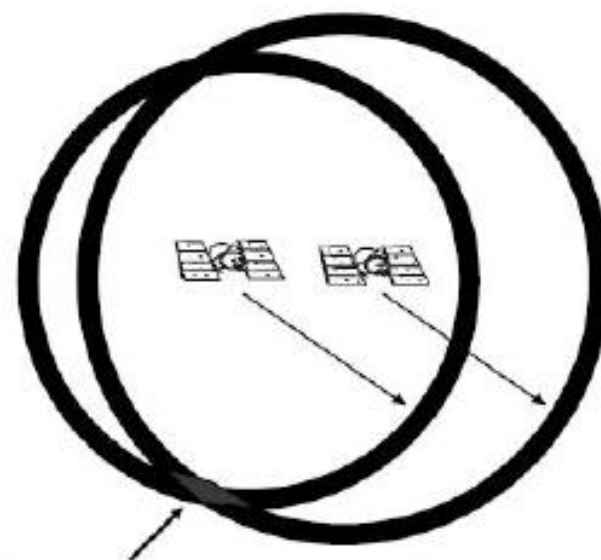


Качество обратной засечки

- Взаимное положение спутников может быть причиной ошибок



*Область поиска
решения на самом деле
не является точкой*



*Чем ближе располагаются
спутники, тем больше
область поиска решения*