

ТЕМА 1. КАРТОГРАФО– ГЕОДЕЗИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАДАСТРА И ЗЕМЛЕУСТРОЙСТВА

ЛЕКЦИЯ 5. ГЛОБАЛЬНЫЕ НАВИГАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ

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. Принцип определения местоположения пунктов. Абсолютное (точечное) позиционирование**
- 2. Дифференциальное позиционирование (DGPS)**
- 3. Создание сети постоянно действующих базовых станций в РБ . СГС–1**
- 4. Проектирование геодезических спутниковых сетей**

**1. ПРИНЦИП ОПРЕДЕЛЕНИЯ
МЕСТОПОЛОЖЕНИЯ
ПУНКТОВ. АБСОЛЮТНОЕ
(ТОЧЕЧНОЕ)
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ**

Применяют **абсолютные** и **относительные**
(дифференциальные) **методы** спутниковых
GPS-измерений.

В абсолютных и в дифференцированных
спутниковых измерениях могут
использоваться **кодовые** и **фазовые методы**.

В абсолютных методах задача решается с использованием **одного** отдельного работающего приемника.

В относительных методах предполагается использование **двух** или более одновременно работающих приемников, расположенных на определенных пунктах.

Для **абсолютных** спутниковых измерений измеренное расстояние между спутником и приемником (псевдодальность $R_{изм.}$) можно определить по формуле:

$$R_{изм.} = \sqrt{(X_S - X_P)^2 + (Y_S - Y_P)^2 + (Z_S - Z_P)^2} + c(\delta t_{np} - \delta t_c) + \delta t_{атм}$$

где X_S, Y_S, Z_S – координаты спутника в геоцентрической прямоугольной системе координат;

X_P, Y_P, Z_P – координаты приемника в той же системе координат;

δt_{np} и δt_c – уклонение показаний часов приемника и спутника относительно эталонного времени;

$c=299792458$ м/с – скорость
распространения радиоволн в вакууме;
 $\delta t_{атм}$ – временные задержки,
обусловленные влиянием атмосферы.

Формула (1) содержит **четыре** неизвестные величины: три координаты точки стояния приемника X_P , Y_P и Z_P , и поправку за уход часов приемника $\delta t_{пр}$.

Для определения этих неизвестных составляют и совместно решают систему уравнений, соответствующих различным значениям расстояний $R_{изм.}$ до различных спутников.

Точность определения положения с помощью
пространственной линейной засечки
зависит от точности измерения
соответствующих расстояний,
от геометрии засечки (геометрического
фактора – ГФ)

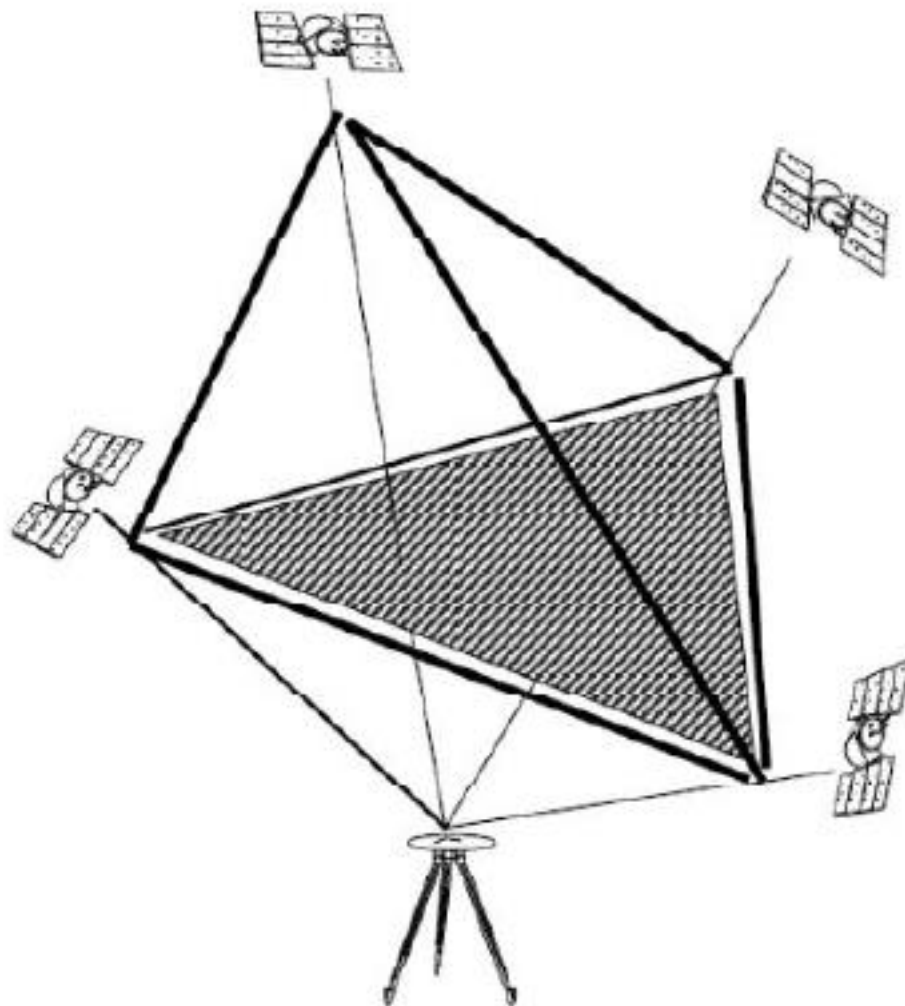
ГФ – отношение стандартов **погрешностей** определения месторасположения M_t и измерения **расстояний** (псевдодальностей) m_R между НИСЗ и определяемой точки на земной поверхности, т.е.

$$ГФ = M_t / m_R.$$

Применительно к системе GPS понятию ГФ соответствует **фактор снижения точности** (DOP) **«ухудшение точности»**.

ГЛОНАСС	GPS NAVSTAR
<p>$\Gamma\Phi_H$ – геометрический фактор, характеризующий суммарное влияние геометрии построения на точность определения планового положения пункта;</p>	<p>HDOP Horizontal – Фактор снижения точности местоопределений в плане</p>
<p>$\Gamma\Phi_x$ – геометрический фактор, характеризующий суммарное влияние геометрии построения на точность определения абсциссы пункта;</p>	
<p>$\Gamma\Phi_y$ – геометрический фактор, характеризующий суммарное влияние геометрии построения на точность определения ординаты пункта;</p>	
<p>$\Gamma\Phi_v$ – геометрический фактор, характеризующий суммарное влияние геометрии построения на точность положения пункта по высоте</p>	<p>VDOP Vertical – Фактор снижения точности высотных определений (только высота)</p>
	<p>PDOP («пидоп»). Position – Фактор снижения точности пространственного местоопределения (три координаты) (рекомендуемое значение 4–6)</p>
	<p>GDOP Geometric – Геометрический фактор снижения точности в решении присутствуют три координаты плюс смещение часов)</p>
	<p>TDOP Time – Фактор снижения точности определения времени (только смещение часов)</p>

Геометрический смысл PDOP



Геометрический
смысл PDOP

пирамида

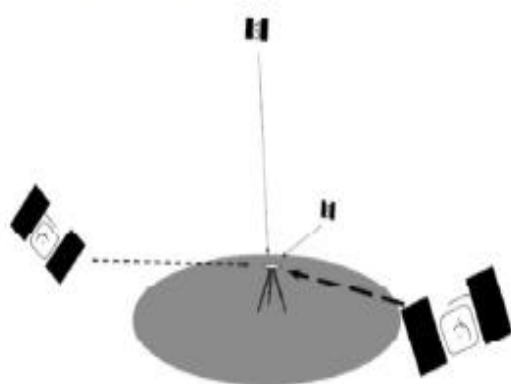
чем больше
ее объем,

тем ниже DOP

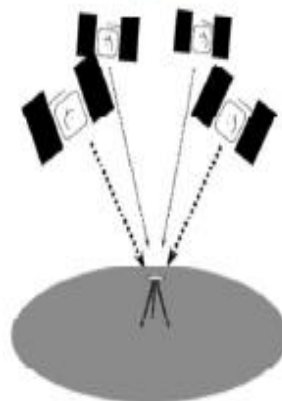
$$\left\{ \begin{array}{l} V_{\text{пир}} = \max \\ \text{PDOP} = 1 \end{array} \right\}$$

Примеры «хорошей» и «плохой» геометрии расположения спутников

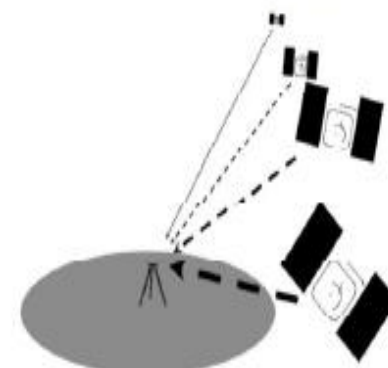
Хорошая геометрия спутников



Плохая геометрия спутников



Плохая геометрия спутников



▶ Для определения наилучшего и наихудшего времени для проведения ГНСС измерений можно использовать следующие простые критерии, зависящие от величины параметра PDOP:

- ▶ $1 < \text{PDOP} < 3$ – отличная геометрия
- ▶ $3 < \text{PDOP} < 5$ – хорошая геометрия
- ▶ $5 < \text{PDOP} < 7$ – удовлетворительная геометрия
- ▶ $7 < \text{PDOP} < 12$ – плохая геометрия
- ▶ $12 < \text{PDOP}$ – очень плохая геометрия

2. ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ (DGPS)

Повышение точности абсолютных определений возможно путем использования дифференциального метода спутниковых наблюдений (Differential Global Positioning System) – *DGPS*.

Характерной особенностью является использование не абсолютных значений регистрируемых с помощью приемника величин, а тех или иных разностей измерений.

Применение дифференциальных псевдодалномерных методов обеспечивает точность определения координат на уровне нескольких метров.

Для реализации дифференциального метода глобальную навигационную спутниковую систему **дополняют** рядом технических средств.

Она дает возможность пользователю перейти при необходимости на работу в дифференциальном режиме.

В качестве **базовой станции** используют геодезический пункт с известными с заданной **точностью координатами** (система координат ГНСС).

Сигналы НИСЗ, одновременно «видимых» на БС и определяемой точке, воспринимаются соответствующими приемниками на базовой геодезической станции.

Соответствующие сигналы поступают в блок формирования корректирующей информации.

Основное назначение данного блока — вычисление корректирующих поправок и формирование кадра корректирующей информации, который по каналу связи с базовой станции передается в приемник спутниковых сигналов, установленный на определяемом пункте.

Данными поправками **корректируют** результаты спутниковых наблюдений, выполненных на определяемой точке, и по этим данным **вычисляются** ее координаты. Эти **поправки** применяются к координатам, полученным подвижным приемником. Поправки могут применяться **в реальном масштабе времени** или **во время постобработки.**

При вычислении окончательных координат определяемой точки используют метод коррекции координат и метод корректировки навигационных параметров.

Метод коррекции координат предполагает, что корректируют вычисленные координаты определяемой точки по спутниковым наблюдениям одного и того же созвездия НИСЗ.

Коррекция навигационных параметров, заключается в том, чтобы передать на определяемую точку набор поправок к измерениям по всем НИСЗ, которые потенциально могут быть использованы при спутниковых наблюдениях на определяемой точке.

На базовой станции (БС) измеряют псевдодальности до всех «видимых» НИСЗ.

Вычисляют измеренные координаты БС, а затем и измеренные дальности.

В дальнейшем, разности между **измеренными псевдодальностями** и соответствующими **вычисленными значениями дальностей** (корректирующая информация) передают по каналу связи **на определяемую точку**, на которой при обработке корректирующей информации **выбирается оптимальное созвездие НИСЗ**.

В мире действуют различные **дифференциальные подсистемы** (ДПС), которые условно разделяют на **локальные, региональные и глобальные.**

Локальные ДПС имеют зону действия 5...200 км от контрольной станции.

Некоторые из них имеют **геодезическое назначение** и при дальности действия **до 50 км** обеспечивают **точность определения** абсолютного положения **от 2 до 4,5 м.**

Зона действия **региональных ДПС**
простирается **до 2000 км.**

Данные дифференциальные подсистемы
обычно имеют в своем составе **несколько**
контрольных станций и для передачи
корректирующей информации используют
геостационарные спутники.

Примером **глобальной дифференциальной подсистемы** служит система **Omni STAR**, которая использует **распределенную по всему миру сеть контрольных станций** для сбора информации со **НИСЗ GPS**.

Собранные данные **передаются в три центра управления**, откуда транслируются на борт **одного из семи геостационарных спутников**.

Каждый спутник в пределах своей рабочей зоны передает дифференциальные поправки.

Пользователи данной системы получают эти поправки по специальной платной подписке.

3. СОЗДАНИЕ СЕТИ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИХ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ В РБ . СГС-1

Основной целью использования Спутниковой системы точного позиционирования Республики Беларусь (ССТП) является получение координат и высот пунктов геодезического и съёмочного обоснования топографических съёмок, определение на местности границ земельных участков, межевых знаков и поворотных точек границ городской черты, а также центров фотографирования аэрофотокамеры в заданной системе координат.

В ССТП координаты геодезических пунктов и объектов местности представлены в следующих системах координат:

- ▶ ITRS (в реализации ITRF2005) – для режима реального времени;
- ▶ ITRS, СК–95, СК–63 или местной системе – для режима постобработки.

Точностные и временные характеристики

ССТП в режиме постобработки:

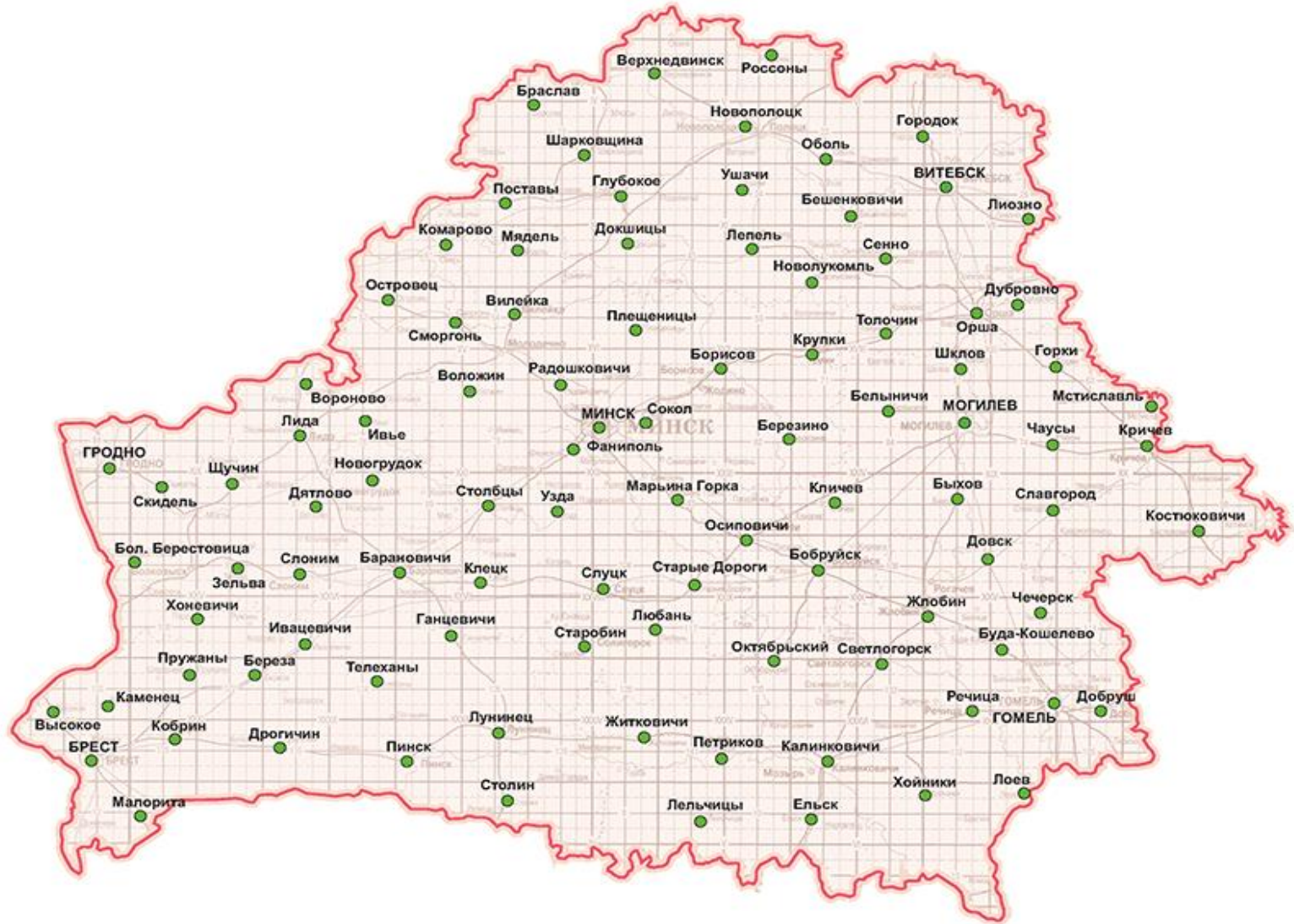
- ▶ определение координат пунктов (точек) в ITRS (в реализации ITRF2005) **в статическом режиме** со средней квадратической ошибкой 1 см в плане и 2 см по высоте **при времени наблюдений 1 час.**

Точностные и временные характеристики ССТП в режиме реального времени:

- ▶ возможность работы со спутниковым приемником **в любой точке** региона;
- ▶ **определение координат** объектов в ITRS (в реализации ITRF2005) **в статическом режиме** со средней квадратической ошибкой **2 см в плане и 3 см по высоте.**

На 1 января 2020 г. ССТП Республики Беларусь
состоит из 98 ПДП.

СХЕМА СЕТИ ПДП РБ



Спутниковая геодезическая сеть 1 класса СГС–1 предназначена для обеспечения оптимальных условий реализации точностных и оперативных возможностей спутниковой аппаратуры.

Она создается относительными методами космической геодезии, представляет собой пространственное геодезическое построение, опирающееся на пункты ФАГС и ВГС и состоящее из системы легко доступных пунктов с плотностью, достаточной для эффективного использования всех возможностей спутниковых определений потребителями.

Средняя длина стороны (D), км	15-25; 8-12 (город)
СКО взаимного положения в плане, мм	$3+1 \cdot 10^{-7}D$
СКО взаимного положения по высоте, мм	$5+2 \cdot 10^{-7}D$
СКО взаимного положения относительно пунктов АГС в плане, мм	20
СКО положения по высоте относительно реперов 3 класса, мм	10
СКО взаимного положения относительно пунктов ФАГС, ВГС по каждой координате, мм	30

Каждый пункт СГС–1 включает **основной центр и два пункта–спутника**, совмещенных с грунтовыми реперами государственной нивелирной сети и удаленные от основного пункта на расстояние не менее 250 м на застроенной территории и 500–1000 м на незастроенной.

Пункты–спутники должны находиться в
прямой видимости от основного;
расстояние между ними определяется со
с.к.о. $\pm 0,05$ м, а дирекционное
направление – со с.к.о. ± 5 м.

Нормальные высоты пунктов СГС–1 определяются из **геометрического или спутникового нивелирования** с точностью, соответствующей требованиям к нивелирным сетям 2 и 3 классов.

4. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СПУТНИКОВЫХ СЕТЕЙ

Выполнение работ по созданию СГС–1 включает:

- ▶ предпроектное обследование геодезических пунктов и реперов;
- ▶ проектирование;
- ▶ восстановление и рекогносцировку геодезических пунктов и реперов;
- ▶ закрепление на местности геодезических пунктов;
- ▶ производство спутниковых измерений;

- ▶ привязку СГС–1 к ФАГС и ВГС;
- ▶ привязку СГС–1 к пунктам АГС;
- ▶ привязку СГС–1 к реперам главной высотной основы;
- ▶ предварительную обработку спутниковых измерений;
- ▶ контроль и приемку полевых работ.

СГС–1 должна обеспечить оптимальные условия для реализации точности и оперативных возможностей спутниковой аппаратуры при переводе геодезического обеспечения Республики Беларусь на спутниковые методы определения координат.

Пункты СГС–1 служат исходной геодезической основой для дальнейшего повышения точности пунктов ГСС.

СГС–1 должна строиться **методами спутниковых определений**, в значительной степени **отличающимися** от традиционных **геодезических построений**, в связи с чем **следует учитывать** следующие **основные особенности проектирования**, организации и проведения работ, базирующихся на использовании спутниковых технологий:

- ▶ нестандартные требования к выбору мест расположения геодезических пунктов, на которых прежде всего **должны обеспечиваться благоприятные условия наблюдения навигационных спутников;**
- ▶ **отсутствие требований к обеспечению взаимной видимости** между геодезическими пунктами и к созданию правильных геометрических фигур в конфигурации геодезических сетей;

- ▶ специфические **требования к конструкции центров геодезических пунктов**, обусловленные возможностями получать как плановые, так и высотные координаты из спутниковых измерений;
- ▶ необходимость **учета факторов**, которые могут приводить **к нарушению нормального приема радиосигналов от навигационных спутников**;

- ▶ необходимость организации и проведения наблюдений на геодезических пунктах с одновременной работой всех приемников, участвующих в одном сеансе наблюдений;
- ▶ наличие телекоммуникационных каналов двухсторонней связи и передачи информации;

- ▶ обеспечение **легкого доступа к пунктам наблюдений**, удобства расположения аппаратуры на пункте, **необходимой точности центрирования** антенного блока и **надежности его закрепления**, обеспечения непрерывности электропитания.

Особенности проектирования СГС-1

Проектирование СГС-1 должно осуществляться в соответствии с выданным проектным (техническим) заданием, где должно быть отражено:

- ▶ основание для проектирования (целевые программы, задание Госкомимущества и т.п.);

- ▶ целевое назначение проектируемых работ;
- ▶ предполагаемые методы выполнения работ;
- ▶ основные технические требования к проектируемым работам;
- ▶ сроки составления технического проекта.

Проектирование СГС-1 на основе
применения спутниковых
радионавигационных систем включает:

- ▶ **техническое проектирование;**
- ▶ **рабочее проектирование.**

Рабочее проектирование осуществляется
на основе утвержденного технического
проекта с использованием данных
рекогносцировки пунктов.

Основной задачей технического проектирования СГС–1 должно быть **оптимальное расположение геодезических пунктов** на местности с точки зрения минимальной стоимости работ с условием обеспечения необходимой точности сети, ее плотности, однородности, правильной геометрии, сохранения геодезических пунктов в течение длительного времени.

- ▶ При техническом проектировании должны использоваться **методы математического моделирования**, учитывающие влияние геометрических связей и ошибок исходных данных.
- ▶ Необходимость выполнения **работ по обследованию** геодезических пунктов и реперов, не включенных в предпроектное обследование, определяется в соответствии с проектным заданием.

- ▶ В техническом проекте должны быть предусмотрены работы по определению и уточнению параметров перехода между координатными системами и их согласованию

Схема проектируемой сети составляется в масштабе 1: 200 000 с использованием топографических карт.

На схеме должны быть показаны проектируемые пункты СГС-1, связи между ними и направления на пункты ФАГС и ВГС, связи с пунктами АГС и реперами, принятые для схемы условные обозначения.

При разработке схемы должны учитываться требования к выбору мест расположения проектируемых пунктов СГС-1:

- ▶ отсутствие преград для наблюдений спутников: холмистые формы микрорельефа, залесенная или застроенная местность и др.;
- ▶ открытость местности вокруг пункта, отсутствие препятствий по углу возвышения более 10° ;
- ▶ отсутствие объектов, которые могут стать причиной многопутности распространения сигналов;

- ▶ отсутствие источников мощного радиоизлучения;
- ▶ отсутствие движущегося транспорта;
- ▶ наличие инфраструктуры, обеспечивающей каналы связи, электропитания, охрану и др.

Технический проект должен включать:

- ▶ текстовую часть;
- ▶ графическую часть;
- ▶ сметную часть.

Графическая часть технического проекта должна быть представлена:

- ▶ схемой проектируемой сети;
- ▶ схемами привязки центров пунктов СГС–1 к пунктам ФАГС, ВГС, АГС и реперам.

Стадии технического проектирования:

- ▶ составление схемы проектируемой сети;
- ▶ решение вопросов совмещения с существующими на объекте пунктами ГГС, координаты которых определены традиционными методами;
- ▶ выбор методов закрепления геодезических пунктов на местности.

Рабочий проект должен составляться перед выездом на полевые работы **на основе технического проекта.**

Рабочий проект должен содержать:

- ▶ пояснительную записку;
- ▶ схему сети;
- ▶ копии карт с отображением пунктов запроектированной сети и оптимальных путей переездов между пунктами.