

**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ ПО ИМУЩЕСТВУ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Приложение 2  
к приказу  
ГУП «Национальное  
кадастровое агентство»  
«31» мая 2018 г. № 147

**НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
РЕСПУБЛИКАНСКОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ  
«НАЦИОНАЛЬНОЕ КАДАСТРОВОЕ АГЕНТСТВО»  
(ГУП «НАЦИОНАЛЬНОЕ КАДАСТРОВОЕ АГЕНТСТВО»)**



**РУКОВОДСТВО ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ГЛОБАЛЬНЫХ  
НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ ПРИ  
ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТ ПО ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ  
И ПРОВЕРКЕ ХАРАКТЕРИСТИК НЕДВИЖИМОГО ИМУЩЕСТВА**  
версия 1.0



**Минск 2018**

## Предисловие

1. РАЗРАБОТАНО Научно-производственным государственным республиканским унитарным предприятием «Национальное кадастровое агентство» (далее – ГУП «Национальное кадастровое агентство»).

2. УТВЕРЖДЕНО И ВВЕДЕНО В ДЕЙСТВИЕ приказом ГУП «Национальное кадастровое агентство» от \_\_.\_\_\_\_ № \_\_\_\_.

3. КОМАНДА РАЗРАБОТЧИКОВ:

начальник сектора технической инвентаризации недвижимого имущества ГУП «Национальное кадастровое агентство» – С.М. Колесник;

специалист по технической инвентаризации 2 категории ГУП «Национальное кадастровое агентство» – Д.В. Шлесин;

ведущий специалист по технической инвентаризации ГУП «Национальное кадастровое агентство» – В.В. Самусев.

Рецензенты:

заместитель Генерального директора ГУП «Национальное кадастровое агентство» – Д.Д. Жуков;

начальник управления формирования и государственной регистрации недвижимого имущества ГУП «Национальное кадастровое агентство» – М.М. Судас;

начальник отдела формирования недвижимого имущества ГУП «Национальное кадастровое агентство» – А.В. Дубков.

4. СОГЛАСОВАНЫ:

РУП «Брестское агентство по государственной регистрации и земельному кадастру» письмом от 16 октября 2015 г. № 1-11/1-636;

РУП «Витебское агентство по государственной регистрации и земельному кадастру» письмом от 16 октября 2015 г. № 02-10/13818;

РУП «Гомельское агентство по государственной регистрации и земельному кадастру» письмом от 16 октября 2015 г. № 05-17/1826;

РУП «Гродненское агентство по государственной регистрации и земельному кадастру» письмом от 16 октября 2015 г. № 01-06/4198;

РУП «Минское городское агентство по государственной регистрации и земельному кадастру» письмом от 23 октября 2015 г. № 1-13/1555;

РУП «Минское областное агентство по государственной регистрации и земельному кадастру» письмом от 23 октября 2015 г. № 1-6/1352;

РУП «Могилевское агентство по государственной регистрации и земельному кадастру» письмом от 19 октября 2015 г. № 5567.

## СОДЕРЖАНИЕ

1	Общие положения .....	4
1.1	Используемые понятия, термины и сокращения .....	4
1.2	Общие сведения о глобальных навигационных спутниковых системах .....	7
1.3	Структура радиосигнала и факторы, влияющие на его прохождение .....	10
1.4	Влияние конфигурации спутникового созвездия на точность спутниковых определений. Фактор понижения точности (DOP).....	11
2	Анализ спутниковой аппаратуры потребителя.....	12
2.1	Виды спутниковых приемников .....	12
2.2	Навигационные спутниковые приемники .....	13
2.3	Профессиональные спутниковые приемники .....	14
2.4	Основные технические требования, предъявляемые к геодезическим спутниковым приемникам .....	14
3	Инфраструктура ГНСС.....	16
3.1	Общие сведения о системах дифференциальной коррекций ....	16
3.2	Локальная подсистема дифференциальной коррекции.....	16
3.2.1	Сети постоянно действующих референцных станций .....	17
3.2.2	Системы коммуникаций.....	19
3.2.3	Спутниковая сеть точного позиционирования Республики Беларусь.....	21
4	Основные принципы и положения выполнения полевых работ с использованием систем ГНСС .....	25
4.1	Основные режимы измерений ГНСС .....	25
4.1.1	Кодовый режим.....	25
4.1.2	Фазовый режим.....	26
4.1.3	Доплеровский режим.....	26
4.2	Общие положения производства работ.....	27
4.3	Подготовительные работы.....	29
4.4	Статический режим съемки.....	30
4.5	Кинематический режим съемки.....	33
4.5.1	Метод «стой-иди».....	33
4.5.2	Метод непрерывной кинематики.....	34
4.5.3	Метод кинематики в режиме реального времени.....	35
4.5.4	Использование ПДП при работе в режиме РТК.....	37
5	Основные принципы и положения выполнения камеральных работ.....	39
5.1	Общий порядок обработки результатов измерений.....	39
5.2	Составление графических материалов.....	40
	Литература.....	41

# 1 Общие положения

## 1.1 Используемые понятия, термины и сокращения

Альманах – цифровая информация, которая описывает положение спутников системы в виде кеплеровских элементов их орбит и служит для долгосрочного прогнозирования текущего местоположения навигационных искусственных спутников земли.

Аппаратура потребителя (спутниковый приемник, приемник) – спутниковые приемники, обеспечивающие прием навигационных сигналов для наземных, морских, авиационных и космических пользователей.

Базовая станция – спутниковый приемник, установленный на пункте с известными координатами и передающий дифференциальные поправки с помощью дополнительного радиоканала на подвижные (перемещаемые приемники).

Высота антенны – расстояние по вертикали между центром пункта и точкой относимости антенны.

Геодезический спутниковый приемник – приемник, обеспечивающий прием кодово-фазовой информации, передаваемой со спутника, предназначенной для выполнения геодезических работ.

Глобальная навигационная спутниковая система (*GNSS*) (далее – ГНСС) – система, состоящая из созвездия навигационных спутников (космический сегмент), службы контроля и управления (сегмент управления) и аппаратуры пользователей (сегмент пользователей), позволяющая определять местоположение (координаты) антенны аппаратуры потребителя.

Инициализация – процедура измерений для предварительного разрешения неоднозначности перед началом спутниковых определений в кинематическом режиме.

Интервал регистрации – один из параметров условий наблюдений спутника, характеризующий период времени, через который происходит регистрация эпох наблюдений.

Канал (спутникового) приемника (*channel*) – часть приемного электронного тракта спутникового приемника, обеспечивающего прием сигнала одной частоты одного спутника.

Кодовые измерения – измерение псевдодалности между спутником и приемником путем обработки псевдослучайного кода.

Маска (*elevation mask*) – один из параметров условий наблюдений спутника, входящий в миссию, характеризующий минимальный угол места спутников, входящих в данную программу измерений, ниже которого спутники не наблюдаются.

Миссия (при спутниковых определениях) – процедура установки в приемнике параметров условий наблюдений спутников и режимов выполнения работы.

Наблюдение спутников – процесс приема измерительной информации от спутников.

Навигационный спутниковый приемник – аппарат, состоящий из антенны, радиоприемника и контроллера, предназначенных для приема и обработки навигационных сигналов спутников с целью получения необходимой потребителю информации (пространственно-временных координат, направления и скорости).

Подвижная станция – спутниковый приемник, перемещаемый между измеряемыми пунктами.

Постобработка (*postprocessing*) – окончательная обработка данных в камеральных условиях с целью получения координат измеряемых пунктов.

Потеря связи – возникновение в процессе выполнения приема ситуации, при которой число наблюдаемых спутников менее минимально необходимого (обычно 4).

Прием – последовательность выполняемых с приемником действий по получению данных наблюдений спутников, включающая установку режима регистрации данных, проведение регистрации и вывод приемника из режима регистрации данных.

Псевдодальность (*pseudo-range*) – расстояние между спутником и приемником, вычисленное по времени распространения сигнала без поправки за расхождение часов спутника и приемника.

Псевдослучайный код – модуляция несущей частоты излучения спутников сигналом с чередующейся начальной фазой 0 и  $\pi$ , в псевдослучайной последовательности, формируемой по строго определенному закону (алгоритму).

Радиосигнал стандартной точности – псевдослучайный код, имеющий короткий период повторения последовательностей, возможность обработки которого приемником обеспечивает выполнение спутниковых определений с метровой точностью. Применительно к системе GPS называется C/A-код (*coarse/acquisition code*, т.е. код, дающий низкоточные данные); в системе ГЛОНАСС – СТ-код.

Радиосигнал высокой точности – псевдослучайный код, имеющий длинный период повторения последовательностей, возможность обработки которого приемником обеспечивает выполнение спутниковых определений с дециметровой точностью. Применительно к системе GPS называется P-код (*precision* - точный); в системе ГЛОНАСС – ВТ-код.

Сеанс (*session*) – непрерывная регистрация сигналов спутников приемниками в течение времени необходимого для решения поставленной задачи.

Спутниковая геодезическая аппаратура – наземная часть аппаратуры потребителя, предназначенная для выполнения геодезических работ.

Спутниковые определения – определение координат пунктов или приращений координат между пунктами, основанное на обработке измерительной информации, поступающей со спутников ГНСС.

Спутниковое созвездие (*satellite constellation*) – совокупность, расположенных в пространстве всех спутников, входящих в ГНСС.

Система ПЗ-90 – российская система геодезических параметров Земли 1990 года, используемая в ГЛОНАСС, в число которых входит система геоцентрических координат.

Система ПЗ-90.02 – представляющая собой систему ПЗ-90 с взаимосогласованными геодезическими параметрами, включающих фундаментальные геодезические постоянные, параметры общеземного эллипсоида, параметры гравитационного поля Земли, общеземную систему координат и параметры ее связи с другими системами координат по состоянию на 1 января 2002 года.

Система ITRS (International Terrestrial Reference System, Международная земная система координат) – стандартная земная система координат, принятая в 1991 году. Началом отсчета является центр масс Земли (включая океан и атмосферу). Система вращается вместе с Землей и не является инерциальной. Ориентация осей определяется из наблюдений Международной службы вращения Земли. Ось z является средней осью вращения Земли и направлена в опорный полюс. Ось x лежит в плоскости опорного меридиана.

Система ITRF (International Terrestrial Reference Frame, Международная земная система отсчета) – реализация земной системы координат ITRS с помощью декартовых координат ряда опорных пунктов на Земле. В ITRF для опорных пунктов приводятся их прямоугольные координаты (X,Y,Z) и скорости по соответствующим координатным осям  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$ , которые обусловлены тектоническим движением плит земной коры. Перечень пунктов утверждается каждые несколько лет. Точность современных измерений настолько высока, что позволяет измерять скорость перемещения пунктов до 0,5 мм/год, и дает возможность определять скорости движения литосферных плит. ITRF2000 реализуется координатами и скоростями более чем 800 опорных точек, жестко связанных с корой Земли.

Система WGS-84 (*World Geodetic System*) – всемирная система геодезических параметров Земли 1984 года, используемая в GPS, в число которых входит система геоцентрических координат.

Точка относимости (антенны приемника) – физическая точка на элементах антенны, находящаяся на оси вращения антенны.

Фазовые измерения – измерение разности фаз сигналов, приходящего (со спутника) и опорного (в приемнике) несущей частоты с неопределенным начальным значением целого числа циклов [волн].

Эпоха (*epoch*) – момент времени, в который спутник находится в некоторой точке орбиты.

Эфемериды (эфемериды спутника) – прогнозируемые координаты и параметры движения спутника на фиксированный момент времени.

DOP (differential global positioning system) – термин, использующийся для параметрического описания геометрического взаиморасположения спутников относительно антенны приемника. Когда спутники в области видимости находятся слишком близко друг к другу, говорят о «слабой» геометрии расположения (высоком значении DOP), и, наоборот, при достаточной удаленности геометрию считают «сильной» (низкое значение DOP). PDOP (Position) – снижение точности по местоположению. GDOP (Geometric) – геометрическое снижение точности.

RINEX (Receiver Independent Exchange Format) – формат обмена данными для файлов исходных данных спутниковых навигационных приемников независимый от (типа) приемника.

## **1.2 Общие сведения о глобальных навигационных спутниковых системах**

Глобальная навигационная спутниковая система состоит из трех сегментов: космический сегмент (навигационные спутники), сегмент управления (расположенная на земле сеть наземных станций, выполняющих непрерывные наблюдения всех спутников созвездия, передающая им обновленную информацию и управляющая их полетом) и сегмент пользователей (аппаратура потребителей). В настоящее время можно выделить четвертый сегмент – система дифференциальных поправок.

Принцип определения местонахождения на земной поверхности с использованием глобальных навигационных спутниковых систем заключается в одновременном измерении расстояния до нескольких навигационных спутников (не менее трех) с известными параметрами их орбит на каждый момент времени, и вычислении по измеренным расстояниям своих координат.

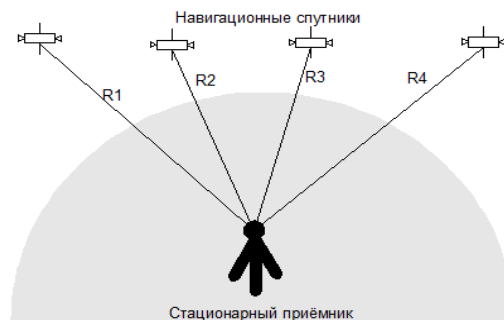


Рисунок 1.1 – Принцип определения местоположения приемником с использованием глобальных навигационных спутниковых систем.

В настоящее время в мире существуют и развиваются четыре системы ГНСС – **GPS** (*Global Positioning System*), **ГЛОНАСС** (*Глобальная Навигационная Спутниковая Система*), «Галилео» (*Galileo*), «BeiDou» (*COMPASS*).

**1.2.1 Глобальная навигационная спутниковая система GPS** (*Global Positioning System*) – спутниковая система навигации, обеспечивающая измерение расстояния, времени и определяющая местоположение. Позволяет в любом месте Земли (исключая приполярные области), почти при любой погоде, а также в космическом пространстве вблизи планеты определить местоположение и скорость объектов. Система разработана, реализована и эксплуатируется Министерством обороны США.

Система включает 24 основных спутников движущиеся вокруг Земли с частотой 2 оборота в сутки по шести круговым орбитальным траекториям (по 4 спутника в каждой), высотой примерно 20 180 км.

В GPS используется система координат WGS-84.

**1.2.2 Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС** (*Глобальная Навигационная Спутниковая Система*) – спутниковая система навигации. Система ГЛОНАСС предназначена для оперативного навигационно-временного обеспечения неограниченного числа пользователей наземного, морского, воздушного и космического базирования. Доступ к гражданским сигналам ГЛОНАСС в любой точке земного шара предоставляется российским и иностранным потребителям на безвозмездной основе и без ограничений.

Система разработана по заказу Министерства обороны СССР. В настоящее время развитием проекта ГЛОНАСС занимается Федеральное космическое агентство (Роскосмос), ОАО «Российские космические системы» и ОАО «Навигационно-информационные системы».

Система включает 25 спутников: 24 основных спутника, движущихся вокруг Земли с частотой 2 оборота в сутки по трем круговым орбитальным траекториям (по 8 спутников в каждой), высотой примерно 19 100 км, и 1 спутник, находящийся на летно-конструкторских испытаниях.



В системе ГЛОНАСС используется система координат ПЗ-90.02.

**1.2.3 Глобальная навигационная спутниковая система «Галилео» (*Galileo*)** – совместный проект спутниковой системы навигации Европейского союза и Европейского космического агентства, является частью транспортного проекта Трансъевропейские сети. Система предназначена для решения навигационных задач для любых подвижных объектов с точностью менее одного метра. Ныне существующие GPS-приемники не смогут принимать и обрабатывать сигналы со спутников «Галилео», хотя достигнута договоренность о совместимости и взаимодополнении с системой GPS третьего поколения.

15.12.2016 система «Галилео» официально введена в эксплуатацию.

На данный момент на орбиту выведено 22 спутника.

К 2020 г. после полного развертывания система будет состоять из 30 спутников: 27 основных, движущихся вокруг Земли с частотой один виток за 14 ч. 4 мин. по трем круговым орбитальным траекториям (по 9 спутников в каждой) высотой примерно 23 222 км, и 3 резервных.

**1.2.4 Глобальная навигационная спутниковая система «BeiDou» (COMPASS)** – китайская система спутниковой навигации.

Планируется, что космический сегмент навигационной спутниковой системы «BeiDou» будет состоять из 35 спутников (5 спутников на геостационарной орбите, 3 спутников на геосинхронной орбите и 27 спутников на средней околоземной орбите (~21 500 км)).

Первая «BeiDou» официально называвшаяся «экспериментальной», или «BeiDou-1», состояла из трех спутников и имела ограниченную зону покрытия и возможности применения. Она обеспечивала навигационными услугами пользователей внутри Китая и приграничных территорий с 2000 года.

«BeiDou» второго поколения, или «BeiDou-2», официально называемая также «Навигационная система Компас». К концу 2011 г. на орбиты было выведено 8 спутников, «BeiDou-2» была введена в строй в качестве региональной системы для обеспечения потребителей навигационными услугами и запущена в коммерческую эксплуатацию 27.12.2012, как навигационная система для Азиатско-Тихоокеанского региона. К концу 2016 года было запущено еще 14 спутников (5 спутников на геостационарной орбите, 5 спутников на геосинхронной орбите и 4 спутника на средней околоземной орбите высотой 21 528 км), что позволило завершить развертывание группировки «BeiDou».

Создание системы третьего поколения «BeiDou-3», начат в 2009 году. Основной целью является обеспечение основных услуг для пользователей, находящихся на территории и акватории обоих Шелковых путей (сухопутного и водного), а также соседних регионов. За период с начала 2017 года по 1 квартал 2018 года были успешно

запущены 4 пары спутников «BeiDou-3». Спутники пока не используются по целевому назначению. К 2020 г. «BeiDou-3» должна обеспечить глобальную зону предоставления пользователям навигационных услуг с открытым и санкционированным доступом. На момент ввода в эксплуатацию к 2020 г. космический сегмент системы «BeiDou» будет включать в себя 35 спутников, в том числе: (5 спутников на геостационарной орбите, 3 спутников на геосинхронной орбите и 27 спутника на средней околоземной орбите высотой 21 528 км).

На территории Республики Беларусь в настоящее время доступны системы GPS, ГЛОНАСС и «BeiDou».

### **1.3 Структура радиосигнала и факторы, влияющие на его прохождение**

Каждый спутник передает радиосигналы на нескольких несущих частотах. В различных системах используются различные несущие частоты. Аппаратура, предназначенная для использования, может быть адаптирована как к одной из систем, так и к нескольким.

Используются следующие несущие радиосигналы:

система GPS: частота L1 – 1575.42 МГц, частота L2 – 1227.60 МГц, частота L5 – 1176.45 МГц.

система ГЛОНАСС: частота L1 – 1600.995 МГц, частота L2 – 1248.06 МГц, частота L3 – 1202.025 МГц.

система «Галилео»: частота E1 – 1575.42 МГц, частота E6 – 1278.75 МГц, частота E5a – 1191.79 МГц, частота E5b – 1207.14 МГц.

система «BeiDou»: частота B1 – 1575.42 МГц, частота B2 – 1191.79 МГц, частота B3 – 1268.52.

К факторам, влияющим на прохождение радиосигнала, относятся механические препятствия, отражающие объекты, радиопомехи, влияние ионосферной и тропосферной рефракции.

Препятствия, такие как наземные строения, густая растительность и крупные предметы, при их нахождении на прямой, соединяющей спутник и приемник (независимо от продолжительности нахождения), исключают возможность наблюдения этого спутника. При этом провода и кабели низковольтных линий электропередач и связи диаметром до 2-3 см, как правило, не являются препятствиями для прохождения радиосигнала.

Электромагнитные поля и радиопомехи, создаваемые источниками радиосигналов (мощными радиостанциями), находящимися на расстоянии менее 1 км от приемника, а также наземными высоковольтными линиями электропередач, находящимися на расстоянии менее 50 м от приемника, понижают точность спутниковых определений, поэтому необходимо избегать размещения спутниковых приемников вблизи таких объектов.

При выполнении спутниковых определений не рекомендуется наблюдать спутники, возвышение которых над горизонтом составляет менее  $15^\circ$ , т.к. в противном случае полученные данные будут значительно искажаться влиянием атмосферной рефракции.

#### **1.4 Влияние конфигурации спутникового созвездия на точность спутниковых определений. Фактор понижения точности (DOP)**

Точность спутниковых определений зависит от конфигурации спутникового созвездия в период выполнения приема.

Влияние конфигурации спутникового созвездия на точность спутниковых определений характеризуется фактором понижения точности DOP (*dilution of precision*), представляющим собой отношение средней квадратической погрешности определения местоположения к средней квадратической погрешности измерения расстояний до наблюдаемых спутников. Фактор DOP имеет несколько видов, основные из которых приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Виды фактора понижения точности (DOP)

<b>Вид фактора DOP</b>	<b>Обозначение</b>	<b>Определяемые параметры</b>
Геометрический	GDOP	координаты, высота, время
Позиционный	PDOP	координаты, высота
Горизонтальный	HDOP	координаты
Вертикальный	VDOP	высота

Фактор DOP характеризуется безразмерной величиной, изменяющейся в пределах первых десятков. Наивысшая точность спутниковых определений достигается при наименьших значениях DOP.

Идеальная для спутниковых определений конфигурация спутникового созвездия достигается в случае, когда один из спутников находится в зените, а остальные равномерно распределены по окружности с центром в определяемой точке так, что их возвышение над горизонтом составляет  $20^\circ$ . Ситуация, когда спутники сгруппированы в небольшой части неба, является неблагоприятной.

Спутниковые определения не рекомендуется выполнять при значениях фактора PDOP более 7.

В процессе выполнения спутниковых определений значение фактора PDOP индицируется на дисплее приемника. В случае если значение фактора PDOP превышает допустимое, необходимо спланировать и провести новый сеанс.

## 2 Анализ спутниковой аппаратуры потребителя

### 2.1 Виды спутниковых приемников

Спутниковые приемники можно разделить на навигационные и профессиональные.

Навигационные спутниковые приемники принимают сигналы стандартной точности, обеспечивают определение местоположения с точностью несколько десятков метров и используются для целей гражданской навигации.

Профессиональные приемники принимают сигналы стандартной и высокой точности, обеспечивают точное определение местоположения, с точностью до нескольких сантиметров и используются для геодезии и картографии, в военных и иных целях.

Кроме того, спутниковые приемники классифицируются:

по количеству принимаемых систем ГНСС:

- односистемные;
- двухсистемные;
- многосистемные;

по количеству принимаемых частот:

- одночастотные;
- двухчастотные;
- многочастотные;

по количеству каналов приема радиосигналов:

- 6-канальные;
- 9-канальные;
- 12-канальные и т.д.

Помимо координат спутниковый приемник способен определить:

- точное время;
- ориентацию по сторонам света;
- высоту над уровнем моря;
- направление на точку с координатами, заданными пользователем;
- текущую скорость, пройденное расстояние, среднюю скорость;
- текущее положение на электронной карте местности.

Спутниковые приемники состоят из следующих основных функциональных элементов:

- антенна (внешняя или патч-антенна – плоская антенна, встроенная в корпус приемника);
- блок приема радиосигналов;
- микропроцессор;
- блок управления;

- блок индикации с дисплеем;
- запоминающее устройство;
- устройство связи;
- блок питания.

В конкретных конструкциях спутниковых приемников перечисленные элементы могут быть скомпонованы в один или несколько блоков. Например, в навигаторе все элементы объединены в один блок, современный спутниковый геодезический приемник состоит из двух блоков: антенны с блоком приема радиосигналов и контроллера, объединяющего остальные элементы.

## 2.2 Навигационные спутниковые приемники

Наиболее доступными и простыми в применении является навигационные спутниковые приемники. Однако точность определения координат навигационными приемниками составляет несколько десятков метров, что делает их неэффективными для целей геодезии, картографии и технической инвентаризации объектов недвижимого имущества и применимыми только для целей навигации.

Навигационные приемники по виду их исполнения разделяют на:

**навигаторы** – автомобильные (отдельное портативное устройство или встроенное в транспортное средство в качестве бортового компьютера, туристические, спортивные. Имеют собственный процессор для выполнения навигационных функций. Навигатор принимает сигналы от спутников, вычисляет и отображает на дисплее свое текущее местоположение (координаты), а также некоторую сопутствующую информацию. Сигнал поступает от спутников с определенной периодичностью, что дает возможность зафиксировать изменение местоположения объекта. По ходу движения координаты точек маршрута сохраняются в памяти прибора. Навигатор способен выполнять свои функции в полностью автономном режиме, предоставляя пользователю данные о текущих координатах, направлении движения, точках маршрута, кратчайшем расстоянии до места назначения, расчетном времени в пути и др.;

**навигационный модуль** – функциональный модуль для встраивания (подключения) к различным устройствам: КПК, ноутбук, мобильный телефон и т.п.. Используют для своей работы навигационные приложения, предназначенные для конкретной операционной системы основного устройства;

**ГНСС-трекеры (логгеры)** – устройство приема-передачи данных для спутникового мониторинга автомобилей, людей или других объектов, к которым оно прикрепляется для точного определения местонахождения объекта. Как правило, трекеры и логгеры не оснащаются собственными дисплеями для отображения информации.

ГНСС-трекер содержит спутниковый приемник, с помощью которого он определяет свои координаты, а также передатчик на базе GSM, передающий данные по GPRS, SMS или на базе спутниковой связи для отправки их на серверный центр, оснащенный специальным программным обеспечением для спутникового мониторинга. Кроме спутникового приемника и передатчика важными техническими элементами ГНСС-трекера является антенна, которая бывает, как внешняя, так и встроенная в ГНСС-трекер.

### **2.3 Профессиональные спутниковые приемники**

Профессиональные спутниковые приемники в зависимости от назначения подразделяются на военные, авиационные, геодезические и иные специализированные (сельскохозяйственные, морские, космические и т.д.). Самыми точными являются военные спутниковые приемники. Для использования в гражданском сегменте для целей наземной геодезии, картографии и технической инвентаризации самым оптимальным прибором является геодезический спутниковый приемник.

Максимальная точность измерения составляет 3-5 м, а при наличии корректирующего сигнала – до 1 мм (обычно 5-10 мм) на 1 км расстояния между станциями (дифференциальный метод).

Геодезические спутниковые приемники отличаются качеством изготовления компонентов, используемым программным обеспечением, поддерживаемыми режимами работы, рабочими частотами, алгоритмами подавления интерференционных зависимостей, солнечной активности (влияние ионосферы), поддерживаемыми системами навигации, увеличенным запасом электропитания.

### **2.4 Основные технические требования, предъявляемые к геодезическим спутниковым приемникам**

Геодезическая спутниковая аппаратура, предназначенная для производства работ в Республике Беларусь, должна быть сертифицирована для применения в Республики Беларусь и иметь свидетельства о поверке. Наличие сертификации оборудования можно проверить на сайте Белорусского государственного института метрологии ([www.belgim.by](http://www.belgim.by)) или в издании «Государственный реестр средств измерений». Поверку аппаратуры необходимо выполнять ежегодно.

Геодезические спутниковые приемники должны соответствовать следующим техническим требованиям:

- должно иметься не менее 6 каналов приема радиосигналов;
- должна быть обеспечена возможность измерения фазы несущего радиосигнала;

- встроенное программное обеспечение должно поддерживать необходимые для работы методы спутниковых определений.

Во время наблюдения спутников должна обеспечиваться возможность получения и вывода на дисплей следующей основной информации:

- количество наблюдаемых спутников;
- количество эпох наблюдений;
- значения фактора PDOP (GDOP);
- сообщения о потере связи;

Должна быть обеспечена возможность ввода, хранения и вывода в компьютер семантической информации. В комплект приемника должен входить программный пакет для компьютера, обеспечивающий вычислительную обработку.

Основные производители геодезических приемников: Leica, Trimble Navigation, Topcon, Sokkia, Javad, и др.

## **3 Инфраструктура ГНСС**

### **3.1 Общие сведения о системах дифференциальной коррекций**

Системы дифференциальной коррекции (Дополнения глобальных навигационных спутниковых систем, англ. GNSS Augmentation) – методы улучшения характеристик работы навигационной системы, такие, как точность, надежность и доступность, через интеграцию внешних данных в процессе расчета.

Для повышения точности позиционирования систем ГНСС на земной поверхности или в околоземном пространстве, используются спутниковые и наземные системы дифференциальной коррекции. Они обеспечивают некоторую территорию информацией о дифференциальных поправках. Спутниковые системы коррекции обычно используют геостационарные спутники.

Можно выделить: стационарные и мобильные системы дифференциальной коррекции; системы работающие в режиме реального времени и в режиме постобработки, передающие информацию по каналам радиосвязи, GSM, интернет, ГНСС и др.

Стационарные системы реализуются в виде спутниковых систем дифференциальной коррекции (англ. SBAS – Space Based Augmentation System), наземных систем дифференциальной коррекции и их комбинаций.

Мобильные системы дифференциальной коррекции – представляют собой системы коррекции, развертываемые исполнителями при производстве работ, наиболее распространенная система – режим RTK. Порядок работы в режиме RTK описан в пункте 4.5.3 настоящего Руководства.

По масштабу охвата территории различают три уровня подсистем дифференциальной коррекции: широкозонная, региональная, локальная. Выделение в структуре единой дифференциальной системы трех иерархических уровней связано с необходимостью удовлетворения требований различных типов потребителей и с особенностями организации соответствующих средств функциональных дополнений. Структура и состав различных уровней существенно различаются, также как и способы и средства получения и доставки потребителям корректирующей информации.

Корректирующие сигналы в системах ГНСС в основном распространяются в формате RTCM SC-104.

### **3.2 Локальная подсистема дифференциальной коррекции**

Локальные подсистемы функционируют при дальностях до потребителя в диапазоне 50-200 км (системы геодезического



обеспечения с дальностью не более 35 км), и обычно имеют в своем составе одну контрольно-корректирующую станцию, аппаратуру управления и контроля целостности и средства передачи данных. В качестве аппаратуры передачи данных в локальной дифференциальной подсистеме (ЛДПС) часто применяют имеющиеся радиомаяки, уплотняя их сигнал и включая в него данные от ЛДПС. Такое решение обосновано экономически, но сигнал радиомаяков, часто работающих в средневолновом диапазоне, весьма подвержен помехам и не позволяет передавать данные с большой скоростью. Дополнительным элементом передачи корректирующей информации может выступать мобильная связь.

ЛДПС обычно делятся на морские, авиационные и геодезические.

Геодезическая локальная подсистема дифференциальной коррекции может быть представлена:

сетью постоянно действующих референчных станций;

временно-установленных в районе работ базовых станций с известными координатами.

### **3.2.1 Сети постоянно действующих референчных станций**

Применение полевых (базовых) референчных станций сопряжено с неудобствами и трудностями (необходимость каждый раз точно выставлять в одном месте, обеспечить непрерывное электропитание, контроль за работой, охрану и защиту от внешних воздействий). На территории, где постоянно выполняются измерения и обмеры, более оптимальным является использовать стационарные постоянно действующие спутниковые референчные станции, формируя таким образом спутниковую сеть точного позиционирования (ССТП).

Состав ССТП включает в себя несколько компонентов, каждый из которых по-своему важен:

сеть постоянно действующих референчных станций, закрепленных наземных пунктов с установленной спутниковой аппаратурой, системой непрерывного электропитания и т.д.;

центр управления системой, ядром которого является сервер со специализированным программным обеспечением;

каналы коммуникации (линий связи) для связи центра управления с референчными станциями и потребителями данных;

каталог точных координат станций, набор параметров перехода из спутниковых систем координат WGS-84 и ПЗ-90 в государственную и местную систему координат (МСК), модель квазигеоида, единое время; заинтересованные потребители.

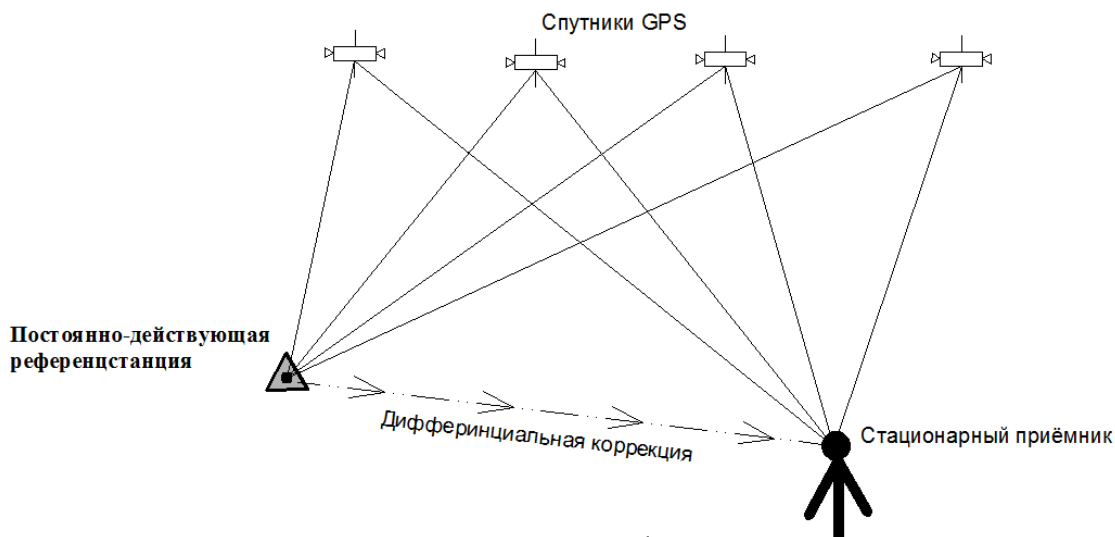


Рисунок 3.3 – Схема производства спутниковых определений с использованием сети постоянно действующих референцных станций.

Наиболее перспективным направлением спутниковой навигации является высокоточное позиционирование, особенно, в режиме реального времени (RTK), позволяющее существенно сократить время, затрачиваемое на измерения при одновременном достижении высокой точности. В настоящее время во многих странах развернуты сети базовых станций, с помощью которых оперативно решаются разнообразные высокоточные измерительные задачи в области геодезии, картографии, технической инвентаризации и др.

Однако на работу в режиме RTK, в первую очередь, влияют такие факторы, как удаленность от базовой станции, стабильность ее работы, а также наличие общих навигационных спутников, видимых станциями сети и подвижным приемником ГНСС. Для того, чтобы избавиться от накапливающихся в результате воздействия этих факторов ошибок, была разработана технология виртуальной референцной станции (Virtual Reference Stations) (далее – VRS). Использование метода VRS существенно расширяет применение режима RTK за счет минимизации ошибок в дифференциальных поправках.

Принцип VRS основан на вычислительном центре со специализированным программным обеспечением и сети ГЛОНАСС/GPS базовых станций, имеющих постоянное подключение к сети Интернет, передающих данные в центр управления. Так же существует специальное сетевое программное обеспечение для контроля сети при удаленном доступе. Компьютер центра управления непрерывно накапливает данные, поступающие от всех приемников, и формирует базу данных «коррекций для локальных площадей» (Regional Area Correction). Это позволяет создать VRS, расположенную как бы в нескольких метрах от передвижного приемника и принимать сырые данные от нее. Данная технология может быть использована как для режима RTK, так и для режима постобработки (Rinex и т.п.). При

использовании метода VRS в режиме реального времени необходимо GGA-сообщением протокола NMEA передать координаты местоположения приемника в вычислительный центр. При режиме постобработки, подвижный приемник производит измерения на местности без использования дополнительного оборудования (радио или сотовых модемов) и необходимых в таких случаях подвижной базовой станции, которая должна находиться на определенном расстоянии. Также при обычном методе съемки подвижный приемник должен производить длительный сеанс работы на одной точке съемки в зависимости от удаления от базовой станции. Эта проблема также решена при сетевом методе. Приемнику необходимо получить минимальное количество информации в поле. После полевых работ данные скачиваются на компьютер. Для обработки данных в программном обеспечении создается VRS базовая станция в нескольких метрах от точки съемки, что и позволяет решить проблему удаленности и времени измерений.

В Республики Беларусь создана государственная сеть постоянно действующих референцных станций – Спутниковая сеть точного позиционирования Республики Беларусь ([www.geo.by](http://www.geo.by)).

### 3.2.2 Системы коммуникаций

Каналы связи – одна из самых главных и основополагающих составляющих ССТП. Каналы связи служат для сбора данных с референцных станций в центре управления системой, передачи данных пользователям, обеспечивая непрерывное функционирование.

Включают в себя:

связь центра управления с референчными станциями: кабельные (локальные сети, Интернет), мобильная связь;

связь центра управления с пользователями для постобработки: кабельные (локальные сети, Интернет);

связь центра управления с пользователями в режиме реального времени: мобильная связь, радио.

Линии связи могут быть самыми различными, в зависимости от ситуации в конкретном месте установки референцных станций. Это могут быть кабельные TCP/IP линии, беспроводные каналы связи GSM /CDMA, радиосвязь (130МГц, 410-450МГц) или оптоволоконные линии. Предпочтительным является соединение по локальной сети или сети Интернет со скоростью передачи 100Мбит, но для каждой станции, исходя из конкретных возможностей, техническое решение готовится отдельно.

Для улучшения работы GPS применяют следующие технологии:

**A-GPS (англ. Assisted GPS)** – способность работать совместно с сетями сотовой связи (GSM), чтобы переложить часть компьютерных расчетов по стартовому определению координат на центральный сервер. В сети сотовой связи позиция GPS приемника очень легко определяется

на основании данных о расположении базовых станций в зоне связи. Центральный сервер определяет эти данные и предоставляет GPS приемнику соответствующие данные для инициализации (точное время с атомных часов, альманах, эфемериды), после чего GPS приемник тратит все свои ресурсы только на расчет текущей позиции. Обычные GPS приемники, в том числе встроенные в смартфоны или в коммуникаторы, имеют трудности при работе в сложных условиях высотных зданий или под кронами деревьев. Такие приемники недостаточно приспособлены для приема слабых отраженных сигналов. Кроме того, при первоначальном включении GPS приемника в таких условиях он не в состоянии загрузить альманах и эфемериды – информация от спутников GPS, которая позволит в дальнейшем начать работу, так как для этого необходимо обеспечить устойчивый прием сигнала длительностью около минуты. Assisted GPS приемник может решать эту проблему различными способами по усмотрению разработчика оборудования. Один из вариантов – использование специального Сервера на базовой станции, который может определить примерное местонахождение GPS приемника по его запросу. Такой Сервер имеет хороший спутниковый сигнал и большую вычислительную мощность. По запросу GPS приемника по каналам GSM сервер снабжает его необходимой для начала работы информацией. Кроме того, сервер способен более точно учитывать ионосферные и другие поправки, влияющие на точность определения координат GPS приемником. Некоторые A-GPS решения требуют, чтобы активная связь между сотовым телефоном и Сервером поддерживалась. Другие решения предполагают автономную работу GPS приемника. К автономным решениям можно отнести повышение чувствительности GPS приемников и запоминание необходимых данных в памяти таких приемников. Однако данные в памяти GPS приемника при его длительном отключении устаревают. В таких случаях использование Серверных технологий выглядит предпочтительным.

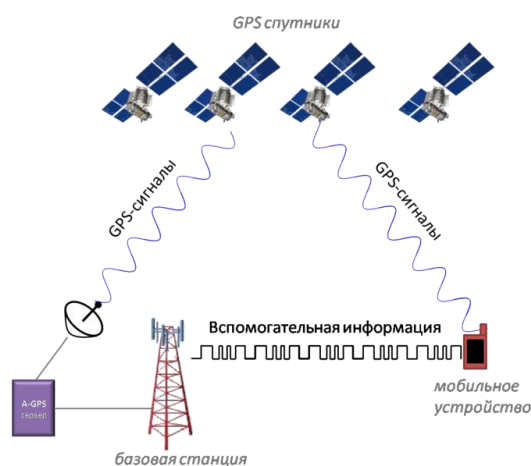


Рисунок 3.4 – Схема коммуникации спутниковых определений с использованием технологии A-GPS

**Системы DGPS (англ. Differential Global Positioning System – дифференциальная система GPS) – является расширением глобальной системы позиционирования, что обеспечивает повышенную точность определения местоположения с 15-метров до 10 см. Принцип заключается в создании наземной сети стационарных GPS-приемников, которые рассчитывают свои координаты, исходя из показаний спутников (которые всегда имеют погрешность), и сравнивают со своими координатами, которые заранее известны. Поправка транслируется в локальном пространстве через наземные передатчики меньшей дальности, в том числе FM сигнала. Этот метод позволяет навигационным приемникам значительно увеличить свою точность.**

### **3.2.3 Спутниковая сеть точного позиционирования Республики Беларусь**

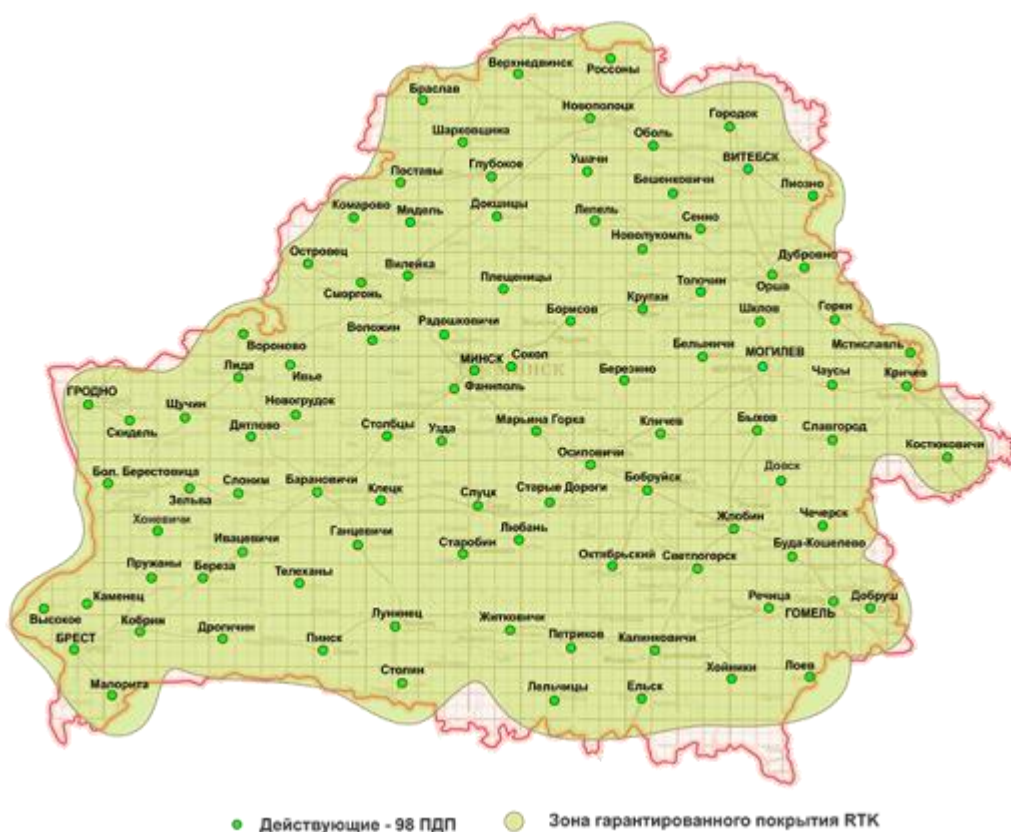


Рисунок 3.5 – Схема сети постоянно действующих пунктов на территории Республики Беларусь [13].

В рамках реализации Государственной программы инновационного развития Республики Беларусь на 2007-2010 годы (Указ Президента Республики Беларусь № 136 от 26.03.2007) УП «Белазрокосмогеодезия» в рамках инвестиционного проекта «Развитие спутниковых технологий при проведении геодезических измерений, межевании земель и навигации территории Республики Беларусь на примере Минского региона» была создана система спутниковой сети точного

позиционирования (далее – ССТП) Минского региона, которая была введена в действие в I квартале 2010 года. На базе ССТП Минского региона была создана и развивается ССТП Республики Беларусь.

Эксплуатацией, обслуживанием и предоставлением услуг ССТП РБ занимается УП «Белаэрокосмогеодезия» ([www.geo.by](http://www.geo.by)).

Предоставление информации из системы постоянно действующих пунктов (далее – ПДП) может осуществляться в двух форматах:

- предоставление измерительной информации сети ПДП ССТП в формате RINEX;

- предоставление корректирующей информации сети ПДП ССТП в режиме реального времени (RTK).

Для предоставления информации необходимо заключить договор с УП «Белаэрокосмогеодезия».

ССТП Республики Беларусь функционирует следующим образом. Спутники ГНСС постоянно излучают навигационные сигналы, которые принимаются спутниковыми приемниками на референчных станциях, расположенных на ПДП.

Полученная в приемниках измерительная информация оперативно в режиме реального времени передается в Вычислительный центр (далее – ВЦ), который ее принимает, расшифровывает и архивирует. Одновременно Вычислительный центр организует защиту информации от несанкционированного доступа. Кроме того, постоянно ведется мониторинг и управление работой референчных станций. Далее в вычислительных средствах Вычислительного центра в режиме реального времени решается сетевая задача и формируется корректирующая информация.

При обработке информации для определения координат объектов с высокой точностью используется так называемое сетевое решение относительно ближайших референчных станций с использованием дифференциального метода.

Из ССТП корректирующая информация может предоставляться в двух режимах: для работы в режиме реального времени RTK и для постобработки измерений в формате RINEX. Соответственно использование ССТП возможно не только с приемниками, имеющих функцию RTK-режим, но и с иными приемниками в процессе постобработки данных.

Сетевое решение обеспечивает получение координат потребителя RTK режима с уровнем ошибок в плане порядка 2-3 см, а в режиме постобработки, в зависимости от длительности наблюдений, можно достичь точности на уровне 5 мм. Точность в режиме реального времени DGPS составляет 0.25-1.0 м.

Максимальная удаленность от базовой станции или ПДП и подвижной станцией не должно превышать 15 км для одночастотных и 20 км для двухчастотных приемников.

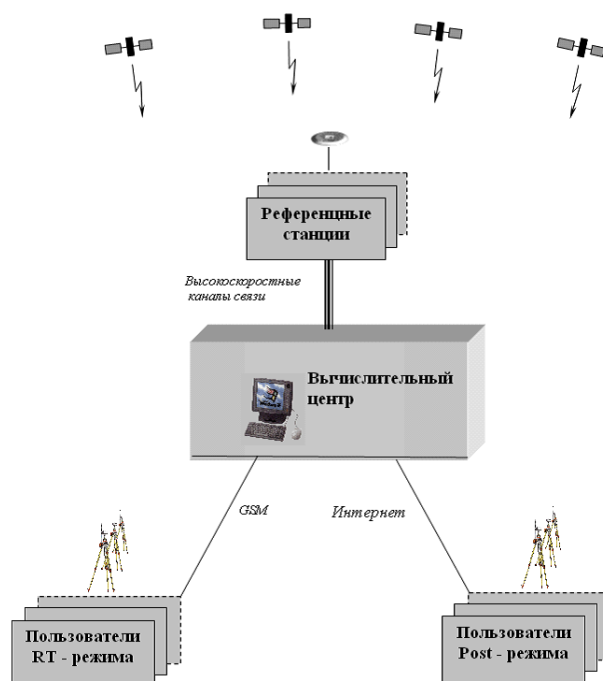


Рисунок 3.6 – Принципиальная схема работы референчных станций в системе ПДП РБ.

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

ITRS (в реализации ITRF2005) – для режима реального времени;

ITRS, СК-95, СК-63 или местной системе – для режима постобработки.

Преобразование или трансформирование координат точек, определяемых с использованием ПДП в ITRS, в систему координат пользователя может выполняться:

по официально опубликованным параметрам связи между системами отсчета координат, определенных в ГКНП 06-008-2011 «Руководство по преобразованию координат»;

по матрице пересчета координат (согласно требованиям технических указаний по использованию матриц пересчета координат, разработанных Республиканским унитарным предприятием «Информационный центр земельно-кадастровых данных и мониторинга земель» в 2011 г. (далее – матрица пересчета координат);

по параметрам преобразования (трансформирования) координат, определенным пользователем самостоятельно. Последовательность преобразования описано в ГКНП 10-013-2012 «Руководство по производству съемки земельных участков с использованием постоянно действующих пунктов», утвержденном Государственным комитетом по имуществу Республики Беларусь 10.05.2012; внутренней инструкции

УП «Белаэрокосмогеодезия» по совместной обработке спутниковых измерений с ПДП ССТП Минского региона и пользователей ССТП.

Преимущества использования ССТП:

для выполнения точных измерений достаточно использовать один геодезический приемник;

не надо тратить время на поиски пунктов геодезической сети;

повышение производительности работ и увеличение точности определения координат и высот.

Недостаток ССТП Республики Беларусь, только в том, что на данный момент она покрывает не всю территорию Республики Беларусь.



## 4 Основные принципы и положения выполнения полевых работ с использованием систем ГНСС

### 4.1 Основные режимы измерений ГНСС

Обеспечение требуемого при крупномасштабных съемках уровня точности достигается за счет применения дифференциальных методов спутниковых измерений с использованием необходимых методов разрешения неоднозначностей.

По режимам измерений способы позиционирования можно разделить на три группы:

*абсолютные определения координат кодовым методом:*

- автономные;
- дифференциальное;

*относительные фазовые измерения:*

- статические;
- кинематические;

*доплеровский режим.*

Для геодезических спутниковых измерений при технической инвентаризации недвижимого имущества применим только метод относительных определений.

#### 4.1.1 Кодовый режим.

Кодовый режим - это режим, изначально заложенный в ГНСС. Сигнал каждого спутника содержит его эфемериды – данные о местоположении спутника, позволяющие вычислить координаты спутника в земной системе координат. Кроме того, кодовый сигнал содержит передаваемую каждые шесть секунд временную метку. Момент ухода временной метки со спутника, определенный по часам спутника, подписан на ней. Приемник захватывает сигнал спутника, идентифицирует спутник по коду его сигнала, считывает временную метку и определяет время прохождения сигнала от спутника до приемника. Это позволяет вычислить дальность от приемника до спутника. Все было бы именно так, если бы часы приемника и спутника шли синхронно. На самом деле между их показаниями в один и тот же момент времени существует ненулевая разность – относительная поправка часов. Она входит в результат определения дальности. Поэтому в данном случае дальность называют псевдодальностью. Таким образом, в кодовом, навигационном режиме измеряемой величиной является кодовая псевдодальность. Поправку часов приемника относительно часов спутника на момент наблюдений определяют, как неизвестную величину из обработки результатов этих наблюдений.

Таким образом, для каждого пункта имеется не три неизвестных (три координаты пункта), а четыре неизвестных: три координаты и

поправка часов приемника. Следовательно, для мгновенного определения местоположения необходимо, чтобы на антенну приемника одновременно приходили сигналы не менее чем от четырех спутников системы. Созвездие спутников системы обеспечивает это требование.

Наблюдения, выполняемые на одном пункте независимо от измерений на других станциях, называются **автономными**. Автономные наблюдения очень чувствительны ко всем источникам погрешностей, обеспечивают точность определения координат 15 – 30 м и используются для нахождения приближенных координат в точных измерениях.

Для повышения точности абсолютные измерения можно выполнять одновременно на двух пунктах: базовой станции, расположенной на точке с известными координатами (обычно пункте государственной геодезической сети), и подвижной станции, установленной над определяемой точкой. На базовой станции измеренные расстояния до спутников сравнивают с вычисленными по координатам и определяют их разности. Эти разности называют дифференциальными поправками, а способ измерения – **дифференциальным**.

#### **4.1.2 Фазовый режим.**

Фазовый режим – это режим высокоточных измерений, в котором одновременно должны участвовать по крайней мере два приемника. В этом режиме получают координаты вектора базы, то есть разность координат пунктов, на которых установлены антенны спутниковых приемников. Ошибка определения вектора базы составляет от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров. Измерения выполняют на несущей частоте сигнала спутника, освобожденного от кода процедурой квадратурования. Измеряемой величиной является мгновенная разность фаз сигнала спутника и сигнала генератора приемника. Здесь уместно сказать о терминах абсолютные и относительные определения. Под абсолютными определениями понимают определение координат пункта, то есть работу в кодовом навигационном режиме. Под относительными определениями понимают определение местоположения одного пункта относительно другого – твердого, исходного пункта. Таков разностный фазовый режим геодезических измерений. Относительными определениями можно также назвать дифференциальный навигационный кодовый режим, когда местоположение и вектор скорости подвижного носителя определяют относительно дифференциальной станции.

#### **4.1.3 Доплеровский режим.**

Доплеровский режим или режим интегрального доплера, является как бы побочным по отношению к фазовому. Доплеровская частота пропорциональна скорости изменения фазы, поэтому доплеровскую

частоту получают попутно с измерением фазы, без каких-либо дополнительных затрат. Несмотря на «бесплатность» этот режим дает богатую информацию о местоположении пункта. Следует напомнить, что первые спутниковые радионавигационные системы были исключительно доплеровскими.

Таким образом, режимы измерений неразрывно связаны друг с другом. Наиболее всего представляет интерес высокоточный фазовый режим, однако приближенные значения координат пунктов, необходимые для уравнивания, он получает из кодовых и доплеровских измерений.

Местоположение точки может быть получено с использованием глобальных навигационных спутниковых систем, как из абсолютных, так и из относительных определений.

Абсолютные определения выполняются по принципу пространственной обратной линейной засечки, образованной измеренными псевдодальностями до 4-х и более спутников с одной точки, на которой размещен спутниковый приемник. Точность абсолютных определений местоположения ограничена рядом факторов, среди которых основным является влияние погрешностей эфемерид спутников.

Стандартная точность определения местоположения абсолютным методом не превышает 5 м, что не позволяет использовать этот метод при съемке объектов для масштаба крупнее 1:50 000, поэтому в настоящем Руководстве абсолютные определения не рассматриваются.

Метод относительных определений основан на принципе компенсации сильно коррелированных погрешностей (к которым относятся и эфемеридные погрешности) при одновременном определении кодовых и фазовых псевдодальностей до спутников одного и того же созвездия с двух точек.

Спутниковые определения относительными методами обеспечивают определение плановых координат и высот в системе координат.

Для реализации относительных спутниковых определений используют два или более приемников, один из которых является базовой станцией, а другие – подвижными станциями.

## **4.2 Общие положения производства работ.**

Наблюдения спутников приемниками осуществляют приемами, объединенными в сеансы.

Для вычисления трехмерного положения точки в продолжение приема необходимо непрерывно наблюдать не менее 4 спутников одновременно. В двухсистемном случае GPS и ГЛОНАСС, а так же при применении динамических методов и особенно кинематического метода,

приемник должен принимать не менее 5 спутников. Состав спутников в продолжение приема может меняться.

При выборе значения интервала регистрации необходимо руководствоваться эксплуатационной документацией приемника с учетом применяемого метода спутниковых определений. Значение интервала регистрации должно быть одинаковым для всех приемников, используемых в сеансе.

Высоту антенны необходимо определять на каждой точке, при этом следует руководствоваться эксплуатационной документацией приемника. Во избежание ошибок, рекомендуется производить измерения в метрической мере.

При работе со спутниковой аппаратурой необходимо соблюдать следующие правила:

- хранить и транспортировать комплект спутниковой аппаратуры в транспортировочные ящики во избежание механических повреждений или воздействия метеофакторов;

- не допускать образования толстого снежного покрова на поверхности антенны приемника и ее обледенения;

- исключить работу с приемником в условиях грозы, во избежание попадания разряда молнии в антенну;

- следить за индицируемым на дисплее значением свободного объема запоминающего устройства приемника и вовремя принимать меры по передаче накопившейся информации в компьютер.

Методы спутниковых определений при выполнении полевых работ по технической инвентаризации и проверки характеристик могут использоваться для:

- измерения объектов;

- съемки территории (плановой, высотной, планово-высотной);

- создания съемочного обоснования.

При выполнении полевых работ, антенна спутникового приемника устанавливается непосредственно на измеряемую точку объекта, при невозможности установления антенны на необходимой точке, создается дополнительное съемочное обоснование, для съемки необходимых точек с использованием иных инструментов и методов.

Имеется несколько режимов и методов выполнения измерений. Выбор конкретного метода зависит от следующих факторов:

- поставленной задачи (создание съемочного обоснования, определения точных координат отдельных точек, топографическая съемка и т.п.);

- требуемый уровень точности;

- технические возможности приемника и наличие соответствующего программного обеспечения;

характер окружающей местности и метеоусловия (радиопомехи, рельеф, гроза);

наличие ограничений на переезд между наблюдаемыми пунктами и расстояние между ними;

конфигурация спутниковой системы и количество наблюдаемых спутников, наличие средств связи.

### **4.3 Подготовительные работы.**

При применении спутниковой аппаратуры подготовительные работы включают:

выполнение требований эксплуатационной документации по подготовке аппаратуры к работе;

проверку готовности аппаратуры к осуществлению работ.

Выполнение требований эксплуатационной документации по подготовке аппаратуры к работе должно вестись в соответствии с инструкциями по эксплуатации аппаратуры или заменяющими их документами.

К производству полевых работ, рекомендуется допускать лиц, прошедших курс обучения работе с аппаратурой того типа, который предполагается применять для спутниковых определений.

Перед выездом на полевые работы с целью освоения технологии и обеспечения надежности проведения работ рекомендуется выполнять пробные спутниковые определения в следующих случаях:

если аппаратура данного типа или метод спутниковых определений используется исполнителем работ впервые;

если предусмотрено выполнение спутниковых определений при таких расстояниях между базовой и подвижной станциями, которые ранее не реализовывались спутниковой аппаратурой данного типа или данным исполнителем;

если аппаратура данного типа применяется впервые при данном характере местности или если исполнитель впервые производит спутниковые наблюдения в окружении препятствий, имеющие факторы, влияющие на прохождение сигнала.

Пробные спутниковые определения необходимо выполнять теми же методами и, по возможности, в тех же условиях, что и на предполагаемом объекте работ.

Состав комплекта аппаратуры и оборудования, необходимого для выполнения полевых работ, зависит от метода спутниковых определений, способов и технологических приемов выполнения работ и других обстоятельств. В общем случае для полевых работ необходимо следующее:

транспортировочные ящики для хранения и перемещения аппаратуры (футляр, рюкзак и т.п.);

аппаратура и устройства для ее установки (штатив, веха, трегер, адаптеры и т.п.);

необходимое вспомогательное оборудование: сменные аккумуляторные батареи, осветительные приборы (для работы в темное время суток), рулетка, оборудование для закрепления точек (колья, гвозди и т.п.), топор, лопата, описание местоположения точек, карандаш, авторучка, эксплуатационная документация.

По условиям организации работ могут быть необходимы также устройства хранения, передачи и обработки информации – PC-карты, полевой компьютер (ноутбук), модем и принадлежности к ним.

#### **4.4 Статический режим съемки.**

##### **Порядок производства полевых работ в статическом режиме.**

Полевые работы в статическом режиме на объекте складываются из доставки приемников и оборудования на пункты и выполнения сеансов.

Для осуществления приема на базовой станции необходимо выполнить следующие операции\*, придерживаясь рекомендаций, данных в пункте 4.2 настоящего Руководства, и руководствуясь эксплуатационной документацией применяемого типа приемника:

1) провести развертывание аппаратуры, установить приемник на пункте с известными координатами и определить высоту антенны;

2) подготовить приемник к работе, как указано в эксплуатационной документации;

3) установить режим регистрации данных наблюдения спутников для базовой станции;

4) пользуясь клавиатурой, ввести в запоминающее устройство: наименование пункта; значение высоты антенны;

5) провести прием наблюдений спутников в течение всего времени производства работ подвижной станцией;

6) выключить режим регистрации данных и выполнить свертывание аппаратуры;

В сеансе для осуществления приема подвижной станции на каждом пункте необходимо выполнить следующие операции\*, придерживаясь рекомендаций, данных в пункте 4.2 настоящего Руководства, и руководствуясь эксплуатационной документацией применяемого типа приемника:

1) провести развертывание аппаратуры, установить приемник на пункте и определить высоту антенны;

2) подготовить приемник к работе, как указано в эксплуатационной документации;

3) установить режим регистрации данных наблюдения спутников;

---

\* Порядок действий следует уточнять по эксплуатационной документации применяемого типа приемника.

4) пользуясь клавиатурой, ввести в запоминающее устройство: наименование пункта, значение высоты антенны;

5) провести прием наблюдений спутников в течение времени, указанного в эксплуатационной документации для применяемого метода спутниковых определений;

6) выключить режим регистрации данных и выполнить свертывание аппаратуры.

После завершения сеансов наблюдений данные, полученные каждой станцией, собираются вместе, вводятся в компьютер и обрабатываются с помощью специальных программ с целью определения неизвестных координат пунктов.

Разновидности статического режима съемки:

- статика;
- псевдостатический;
- быстростатический.

Псевдостатический и быстростатический методы могут применяться при производстве работ по технической инвентаризации и проверки характеристик зданий и сооружений, при условии, что имеются факторы, мешающие прохождению радиосигналов (пункт 1.3 настоящего Руководства). В этом случае целесообразно с помощью приемников закреплять точки съемочного обоснования, с которых в дальнейшем осуществляется съемка тахеометром.

**4.4.1 Статика (*Static*)** – метод, при котором наблюдения подвижной станцией на точке выполняют одним приемом продолжительностью не менее 1 часа\*.

При выполнении съемки в режиме «статика» базовая и подвижная станция одновременно выполняют наблюдения и записывают данные. Такая длительность сессии вызвана необходимостью определения целочисленной неоднозначности фаз в начале сессии. Этому способствует и заметное изменение со временем конфигурации спутниковой системы. Одночастотные приемники используются для измерения баз длиной до 10-15 км, а двухчастотные – до 20 км (преимущества двухчастотных приемников заключаются в возможности адекватного моделирования эффекта воздействия ионосферы, а также меньшей продолжительности наблюдений для достижения заданной точности).

Ориентировочная точность метода при использовании фазовых наблюдений\*:

для двухчастотных приемников:

---

\* В случаях, если эксплуатационная документация спутниковой аппаратуры содержит конкретные указания о минимально необходимом времени наблюдении для реализации того или иного метода, при проектировании и выполнении спутниковых определений целесообразно время наблюдений уточнять в соответствии с данными эксплуатационной документации.

\* Порядок действий следует уточнять по эксплуатационной документации применяемого типа приемника.

в плане: до  $5 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км} * D$ ;  
по высоте: до  $10 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км} * D$ ;

для одностотных приемников:

в плане: до  $5 \text{ мм} + 1 \text{ мм/км} * D$  – (при  $D < 10 \text{ км}$ ); до  $5 \text{ мм} + 2 \text{ мм/км} * D$  – (при  $D > 10 \text{ км}$ );

$D$  – расстояние между базовой станцией (ПДП) и определяемым объектом в километрах. [4]

Минимальное время наблюдений для одностотных приемников при длине базовой линии до 10 км – 60 мин, до 20 км – 120 мин. Для двухчастотных приемников, при длине базовой линии до 10 км – 30 мин, до 20 км – 60 мин.

Для наблюдений должны быть доступны минимум 5 спутников под углом более  $15^\circ$  над горизонтом и при  $GDOP < 8$ .

**4.4.2 Псевдостатический (*PseudoStatic*)** – метод статического режима, при котором наблюдения подвижной станцией на точке выполняют двумя приемами продолжительностью не менее 10 минут\*\* каждый с интервалом между выполнением приемов от 1 до 4 часов. Приемы должны быть выполнены одним и тем же приемником.

Псевдостатический метод отличается от статического тем, что обеспечивает более высокую производительность съемки за счет выполнения наблюдений в течение нескольких коротких сессий вместо одной длинной.

Точность получаемых результатов будет на уровне статического метода. Для наблюдений могут использоваться как одностотные, так и двухчастотные приемники. Метод удобен, когда необходимо в течение короткого времени произвести точное измерение координат большого количества точек. Недостатком метода является необходимость точного планирования графика посещения пунктов.

Порядок производства полевых работ аналогичен порядку работ при статическом методе съемки.

**4.4.3 Быстростатический (*FastStatic*)** – метод статического режима, при котором наблюдения подвижной станцией на точке выполняют одним приемом продолжительностью 5-20 минут\*\*. Ориентировочные значения продолжительности наблюдений на точке при применении быстрого статического метода в зависимости от числа наблюдаемых спутников приведены в табл. 2.

Таблица 2. Продолжительность наблюдений на точке при применении быстростатического режима.

---

\*\* В случаях если эксплуатационная документация спутниковой аппаратуры содержит конкретные указания о минимально необходимом времени наблюдений для реализации того или иного метода, при проектировании и выполнении спутниковых определений целесообразно время наблюдений уточнять в соответствии с данными эксплуатационной документации.



<b>Число наблюдаемых спутников</b>	<b>Продолжительность наблюдений, мин.</b>
4	≥ 20
5	10 – 20
6 и более	5 – 10

#### **4.5 Кинематический режим съемки.**

**Кинематический (*Kinematic*)** – режим, при котором подвижная станция находится в режиме непрерывной работы как во время выполнения приема на точке, так и во время перемещения между точками, а базовая станция (ПДП) стоит на пункте с известными координатами.

Применяется для топографической съемки при технической инвентаризации и проверки характеристик сооружений в условиях очень хорошего приема спутникового радиосигнала.

Его разновидностями являются метод «стой-иди», метод непрерывной кинематики и метод кинематики в режиме реального времени RTK (*Real Time Kinematic*).

##### **4.5.1 Метод «стой-иди».**

**Метод «стой-иди» (*Stop&Go*)** – метод кинематического режима с постобработкой, предусматривающий кратковременную (для фиксирования нескольких эпох) остановку на точке, подлежащей определению, однако требующий, чтобы при перемещении от одной точки к другой сохранялась связь с не менее чем 4-мя спутниками, в противном случае на этой точке необходимо оставаться до полного разрешения неоднозначности. Работа методом «стой-иди» складывается из выполнения подвижной станцией приема, называемого инициализацией (продолжительностью около 15 минут\*), и выполнения связанных с этой инициализацией приемов на определяемых точках продолжительностью до 1 минуты.

Плановая точность данных измерений может достигать 1см+1 мм/км, высотная – до 2 см +1 мм/км.

**Порядок производства работ при кинематическом методе методом «стой-иди».**

При производстве съемки на каждом участке, прием, осуществляемый базовой станцией, следует выполнять в течение всего времени производства работ подвижной станцией на этом участке.

При производстве съемки работу, проводимую подвижной станцией, следует выполнять, придерживаясь рекомендаций, данных в

---

\* В случаях, если эксплуатационная документация спутниковой аппаратуры содержит конкретные указания о минимально необходимом времени наблюдений для реализации того или иного метода, при проектировании и выполнении спутниковых определений целесообразно время наблюдений уточнять в соответствии с данными эксплуатационной документации.

пункте 4.2 настоящего Руководства, и руководствуясь эксплуатационной документацией, прилагаемой к приемнику. Для осуществления работ на каждом участке необходимо выполнить следующие действия \*\*:

1. провести развертывание аппаратуры, входящей в комплект подвижной станции так, как это рекомендовано эксплуатационной документацией для метода «стой-иди», и определить высоту антенны;
2. подготовить приемник к работе, как указано в эксплуатационной документации;
3. установить режим «стой-иди»;
4. установить режим регистрации данных наблюдений спутников;
5. пользуясь клавиатурой, ввести в запоминающее устройство значение высоты антенны.

6. выполнить инициализацию, как описано в эксплуатационной документации применяемого приемника, и, не выходя из режима «стой-иди», выключить режим регистрации данных наблюдения спутников;

7. установить приемник на точку съемки;
8. установить режим регистрации данных наблюдения спутников;
9. пользуясь клавиатурой, ввести в запоминающее устройство значение номера точки, значение высоты антенны и необходимую семантическую информацию;

10. выполнить регистрацию данных наблюдения спутников в течение времени, указанного в эксплуатационной документации, и, не выходя из режима «стой-иди», выключить режим регистрации данных;

Повторить действия по подпунктам 7 – 10 на всех точках съемки;

Выключить приемник и выполнить свертывание аппаратуры.

Поскольку применение метода «стой-иди» требует непрерывного наблюдения необходимого числа спутников во все время выполнения съемки на участке после каждой инициализации, то, как при выполнении приема на точке, так и при переходе от точки к точке необходимо избегать потерь связи.

Если при выполнении съемки участка происходит потеря связи, то для продолжения съемки необходимо, исключив причины потери связи, заново выполнить инициализацию согласно п. 6, и продолжить съемку точек.

Этот метод целесообразно использовать при съемке линейных сооружений.

#### **4.5.2 Метод непрерывной кинематики.**

**Метод непрерывной кинематики (*Continuous*)** – разновидность кинематического режима с постобработкой, наблюдения производятся без инициализации и необходимости остановок на точках. Он используется в тех случаях, когда есть уверенность, что время

---

\*\* Порядок действий следует уточнять по эксплуатационной документации применяемого типа приемника.

непрерывного приема достаточного числа спутников (не менее 5) составляет не менее 15 минут.

### **Порядок производства при кинематическом методе методом непрерывной кинематики.**

При производстве съемки на каждом участке, прием, осуществляемый базовой станцией, следует выполнять в течение всего времени производства работ подвижной станцией на этом участке.

При производстве съемки работу, проводимую подвижной станцией, следует выполнять, придерживаясь рекомендаций, данных в пункте 4.2 настоящего Руководства, и руководствуясь эксплуатационной документацией, прилагаемой к приемнику. Для осуществления работ на каждом участке необходимо выполнить следующие действия\*:

1. Провести разворачивание аппаратуры, входящей в комплект подвижной станции так, как это рекомендовано эксплуатационной документацией для метода непрерывной кинематики, и определить высоту антенны;

2. Подготовить приемник к работе, как указано в эксплуатационной документации;

3. Установить режим непрерывной кинематики;

4. Установить приемник на начальную точку;

5. Установить режим регистрации данных наблюдений спутников;

6. Пользуясь клавиатурой, ввести в запоминающее устройство значение высоты антенны и значение номер начальной точки, необходимую семантическую информацию и время, через которое происходит автоматическое сохранение данных;

7. Двигаться по объекту до конечной точки (не менее 15 минут);

8. Выключить приемник и выполнить свертывание аппаратуры.

Этот метод рекомендуется использовать при съемке линий электропередачи (от опоры к опоре), подземных инженерных сетей (от колодца к колодцу), подземных кабельных сетей, линейных сооружений железнодорожных путей.

При съемке подземных инженерных сетей: один исполнитель идет с трассоискателем, отыскивает все точки поворота сети, а второй – за ним на некотором расстоянии с подвижной станцией, снимая координаты точек поворота.

При съемке линейных сооружений железнодорожных путей производится прием данных наблюдения железнодорожных путей на всем их протяжении.

### **4.5.3 Метод кинематики в режиме реального времени.**

Метод кинематики в режиме реального времени (Real Time Kinematic) RTK (далее – RTK) – разновидность кинематического режима,

---

\* Порядок действий следует уточнять по эксплуатационной документации применяемого типа приемника.

при котором выполняется обработка результатов наблюдений на подвижной станции одновременно с измерениями.

В состав RTK-системы входит базовая и передвижная станции, состоящие из приемника, антенны, радиомодема или специализированного GSM-модема, радиоантенны, при использовании GSM-модема еще необходима SIM-карта с доступом к услуге GPRS.

Передвижные станции, работающие в режиме реального времени, традиционно получают данные от одиночной базовой станции. Такая станция может быть постоянно действующей или временно установленной в районе работ. В обоих случаях базовая станция устанавливается на точке с известными координатами и передает поправки для передвижных станций с помощью устройства коммуникации (радиомодем или устройство GSM).

Для выполнения наблюдений в режиме RTK должны соблюдаться основные требования:

наличие двухчастотных приемников, поддерживающих данный режим;

необходимость одновременного и непрерывного отслеживания сигналов минимум от 5 спутников по двум частотам для успешной инициализации и выполнения съемки;

нахождение приемника в области покрытия GPRS-услуги для доставки RTK-поправок от вычислительного центра ССТП к приемнику.

при сбое в сеансе наблюдений RTK-поправок, влекущем за собой срыв инициализации и снижение точности результатов наблюдений до 1-1.5 метров, продолжать съемку (наблюдения) только после восстановления инициализации для возврата точности результатов наблюдений на сантиметровый уровень.

Координаты передвижной станции в режиме RTK вычисляются при помощи специальных алгоритмов, позволяющих ему успешно работать в режиме реального времени. Каждая станция RTK-комплекта оборудована радио или GSM-модемом, посредством которого осуществляется передача корректирующих данных (поправок), а также соответствующими антеннами.

Время ожидания определения местоположения изменяется от 20 мс до 100 мс (для различных приемников)\*. Если приемник работает в синхронизированном режиме RTK, время ожидания зависит в основном от времени ожидания радиоканала связи.

**Порядок производства полевых работ при кинематическом методе в режиме RTK.**

Успешная съемка требует инициализации системы и сохранения инициализации в течение всей съемки.

Для осуществления работ на каждом участке необходимо выполнить следующие действия\*:

1. провести развертывание аппаратуры, входящей в комплект подвижной станции так, как это рекомендовано эксплуатационной документацией для режима RTK, и определить высоту антенны;
2. подготовить приемник к работе, как указано в эксплуатационной документации.
3. установить режим RTK;
4. прописать телефонный номер базовой станции или ПДП;
5. ввести PIN-код;
6. пользуясь клавиатурой, ввести в запоминающее устройство значение высоты антенны;
7. выполнить инициализацию, как описано в эксплуатационной документации применяемого приемника, и, не выходя из режима RTK, выключить режим регистрации данных наблюдения спутников;
8. установить приемник на точку;
9. установить режим регистрации данных наблюдения спутников;
10. пользуясь клавиатурой, ввести в запоминающее устройство наименование точки, значение высоты антенны и необходимую семантическую информацию;
11. выполнить регистрацию данных наблюдения спутников в течение времени, указанного в эксплуатационной документации, и, не выходя из режима RTK, выключить режим регистрации данных;
12. повторить действия по подпунктам 7 – 11 на всех точках участка съемки;
13. выключить приемник и выполнить свертывание аппаратуры.

#### **4.5.4 Использование ПДП при работе в режиме RTK.**

При использовании в качестве базовой станции ПДП пользователю предоставляются корректирующие поправки RTK в реальном времени и стандартном формате. Передача дифференциальных поправок осуществляется при помощи связи GSM/GPRS посредством протокола NTRIP (Network Transport of RTCM via Internet Protocol) – протокол передачи RTCM данных через Интернет. Он может быть использован не только для передачи RTCM-информации, но и поддерживает все GNSS-форматы. Корректирующие поправки спутниковой системы точного позиционирования могут быть двух уровней точности:

режим реального времени RTK с точностью 2 см, 3 см по высоте;

режим реального времени DGPS с точностью 0.25-1.0 м;

Дискретность режима RTK – 1 секунда.

Прием поправок выполняется по GPRS в формате RTCM v. 3.0 от серверов УП «Белаэрокосмогеодезия».

---

\* Порядок действий следует уточнять по эксплуатационной документации применяемого типа приемника.

При выполнении наблюдений в режиме RTK пользователь получает координаты в системе WGS-84 (или ITRS, имеющей незначительные расхождения с WGS-84). Для получения нужной системы координат пользователю необходимо перед выполнением полевых работ вычислить параметры преобразования или трансформирования координат самостоятельно (ГКНП 06-008-2011). Указанные параметры предварительно вносятся в контроллер приемника пользователя. Так же определение параметров трансформирования координат можно производить после выполнения полевых работ с использованием специализированного программного обеспечения. На примере программного обеспечения LEICA GeoOffice пошаговые действия преобразований приведены в ГКНП 10-013-2012.

## **5 Основные принципы и положения выполнения камеральных работ.**

### **5.1 Общий порядок обработки результатов измерений.**

В результате полевых измерений формируются проекты данных, для которых выполняется вычислительная обработка в специализированных программных комплексах, предназначенных для обработки спутниковых измерений в предусмотренных для данного типа аппаратуры, применявшейся при производстве полевых работ (например, Trimble Business Center, TopCon Tools, Credo DAT и др.).

Для производства вычислений необходимо использовать компьютеры, технические характеристики которых удовлетворяют требованиям, изложенным в эксплуатационной документации программного комплекса для обработки.

При осуществлении вычислительных работ в качестве руководства должна использоваться эксплуатационная документация, прилагаемая к каждому программному пакету.

Вычислительная обработка производится по следующим этапам:

1. Создание проекта. В программе создается новый проект, где указывается название проекта, система координат и другие данные.

2. Импорт данных. Для этого контроллер подключается к компьютеру и синхронизируется. Далее импортируются данные в созданный проект, сначала из базовой станции, а затем из подвижной. Следует отметить, что процесс импорта данных с базовой станции не отличается от процесса импорта с подвижной станции. При импорте данных содержится ряд параметров, контролирующих процесс загрузки данных и базу данных проекта. Прежде чем приступить к обработке данных, следует убедиться в правильности информации, которая была введена в поле (название точек, высота антенны и т.д.). При использовании данных ПДП в проект импортируются необходимые файлы наблюдений ПДП в формате RINEX.

3. Предварительная обработка – разрешение неоднозначностей фазовых псевдодальностей до наблюдаемых спутников, получение истинных координат определяемых точек и оценка точности.

4. Уравнивание результатов определения базисных линий в сети уравнивания. Преобразования данных осуществляется посредством функции уравнивания, в результате чего координаты точек пересчитываются относительно базовой станции и отбрасываются точки с некорректными данными. В итоге получается проект с обработанными данными.

5. Экспорт данных. Данные проекта можно экспортировать в различные форматы для дальнейшей обработки.

6. Трансформация координат в необходимую систему координат (для трансформации координат необходимо использовать ключи пересчета, которые разработаны в ГП «Белгеодезия»).

При переводе координат в другие системы точность может ухудшиться.

В результате проведения вычислительной обработки должен быть составлен каталог координат.

## **5.2 Составление графических материалов.**

Основными и распространенными векторно-графическими программами для составления графических материалов составленных по результатам выполнения работ по технической инвентаризации и проверки характеристик являются: AutoCAD и ArcGIS.

Для построения графических материалов в программы импортируются точки в необходимой системе координат. Оформление графических документов осуществляется в соответствии с предъявляемыми требованиями.



## Литература

1. ГКНП 10-013-2012 «Руководство по производству съемки земельных участков с использованием постоянно действующих пунктов», утвержденное приказом Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь от 10.05.2012 № 101.
2. ГКНП 06-008-2011 «Руководство по преобразованию координат», утвержденное и введенное в действие приказом Государственного комитета по имуществу Республики Беларусь от 16.02.2011 № 58.
3. ГОСТ 31380-2009 «Глобальные навигационные спутниковые системы. Аппаратура потребителей. Классификация», введенный в действие постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 31.08.2011 № 64.
4. ГОСТ Р 52928-2010 «Система спутниковая навигационная глобальная. Термины и определения», утвержденный и введенный в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации от 9.11.2010 № 353-ст
5. ГОСТ Р 53606-2009 «Глобальная навигационная спутниковая система. Методы и технологии выполнения геодезических и землеустроительных работ. Метрологическое обеспечение. Основные положения», утвержденный и введенный в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации от 15.12.2009 № 931-ст.
6. Атаманов С.А., Григорьев С.А. Кадастр недвижимости. – М.: MapT, 2003.
7. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02 «Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS», утвержденные приказом Федеральной службой геодезии и картографии Российской Федерации от 18.01.2002 № 3-пр.
8. Кунегин С.В. «Глобальные системы определения координат GPS и ГЛОНАСС».
9. Общее справочное руководство по GPS-съемке. Trimble Navigation Surveying & Mapping Division. Ноябрь, 1994 г.
10. Руководящий технический материал «Спутниковая технология геодезических работ. Термины и определения». Утвержден Роскартографией 24.04.2001 г.
11. Системы спутниковой навигации. Ю.А. Соловьев. – М.: Эко-Трендз, 2000.
12. Принципы работы системы GPS и ее использование. <http://www.jmos.ru/stati/printsipyi-raboty-i-sistemyi-gps-i-ee-ispolzovanie.html>.
13. Услуги точного позиционирования. – URL: <http://www.geo.by/ru/for-organizations/precise-positioning-service>) (дата обращения: 28.05.2018)