

## **Самостоятельная работа № 3**

**по дисциплине «Выполнение полевых и камеральных  
работ по созданию геодезических сетей специального  
назначения»**

**на тему: «Принцип действия устройств и методики  
проверки приборов для спутниковых определений»**

**Специальность 21.02.19 Землеустройство**

**очной формы обучения**

Оренбург, 2025

## **СОДЕРЖАНИЕ**

1.1 Принцип действия устройств для спутниковых определений	3
1.2 Методики поверки приборов для спутниковых определений	6
1.3 Особенности применения спутниковых методов в геодезии	10
Библиографический список	16

# **1.1 ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВ ДЛЯ СПУТНИКОВЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ**

Спутниковая система навигации (ГНСС, англ. Global Navigation Satellite System, GNSS) — система, предназначенная для определения местоположения (географических координат) наземных, водных и воздушных объектов, а также низкоорбитальных космических аппаратов. Спутниковые системы навигации также позволяют получить скорость и направление движения приёма сигнала. Кроме того, могут использоваться для получения точного времени.

Такие системы состоят из космического оборудования и наземного сегмента (систем управления).

На 2020 год три спутниковые системы обеспечивают полное покрытие и бесперебойную работу для всего земного шара — GPS, ГЛОНАСС, «Бэйдоу»

Принцип работы спутниковых систем навигации основан на измерении расстояния от антенны на объекте (координаты которого необходимо получить) до спутников, положение которых известно с большой точностью. Таблица положений всех спутников называется альманахом, которым должен располагать любой спутниковый приёмник до начала измерений. Обычно приёмник сохраняет альманах в памяти со времени последнего выключения и если он не устарел — мгновенно использует его. Каждый спутник передаёт в своём сигнале весь альманах. Таким образом, зная расстояния до нескольких спутников системы, с помощью обычных геометрических построений, на основе альманаха, можно вычислить положение объекта в пространстве.

Метод измерения расстояния от спутника до антенны приёмника основан на том, что скорость распространения радиоволн предполагается известной (на самом деле этот вопрос крайне сложный, на скорость влияет множество слабопредсказуемых факторов, таких как характеристики ионосферного слоя и

пр.). Для осуществления возможности измерения времени распространяемого радиосигнала каждый спутник навигационной системы излучает сигналы точного времени, используя точно синхронизированные с системным временем атомные часы. При работе спутникового приёмника его часы синхронизируются с системным временем, и при дальнейшем приёме сигналов вычисляется задержка между временем излучения, содержащимся в самом сигнале, и временем приёма сигнала. Располагая этой информацией, навигационный приёмник вычисляет координаты антенны. Все остальные параметры движения (скорость, курс, пройденное расстояние) вычисляются на основе измерения времени, которое объект затратил на перемещение между двумя или более точками с определёнными координатами [1].

В основе работы любого GNSS-приемника лежит принцип триангуляции – определение местоположения объекта путем измерения расстояний до нескольких известных точек. В случае GNSS, этими известными точками являются спутники, вращающиеся вокруг земли. Каждый спутник постоянно передает на землю два основных типа информации:

Собственный уникальный идентификатор и точное время передачи сигнала: Это позволяет приемнику идентифицировать, от какого именно спутника получен сигнал, а также определить, в какой момент времени этот сигнал был отправлен. Время является ключевым фактором в расчетах.

Навигационное сообщение: Содержит данные о точной орбите спутника (эфемериды), а также информацию о состоянии всех спутников системы (альманах). Эта информация позволяет приемнику определить точное положение спутника в момент передачи сигнала.

GNSS-приемник, принимая сигналы от нескольких спутников, вычисляет время, за которое сигнал от каждого спутника достиг его антенны. Разница во времени, умноженная на скорость света, даёт нам приблизительное расстояние до каждого спутника. По сути, приемник “находится” на поверхности сферы, радиус которой равен расстоянию до спутника. Пересечение нескольких таких сфер и определяет местоположение приемника.

Для определения точного 3D-положения (широты, долготы и высоты) требуется как минимум четыре спутника. Три спутника позволяют определить координаты на плоскости (широта и долгота), а четвертый – высоту. Чем больше спутников «видит» приемник, тем точнее будет определение координат. Работа ГНСС строится на измерении расстояния от антенны, расположенной на объекте, координаты которого требуется получить, до спутников с точно вычисленным положением.

Метод измерения зависит от предположительно известной скорости распространения радиоволн. Спутники ГНСС, используя атомные часы, излучают сигналы точного времени, синхронизированные с системным временем. С последующим приемом сигналов рассчитывается временная задержка между излучением самого сигнала и его приемом. При помощи этой информации спутниковый приемник устанавливает координаты антенны. Курс, скорость, пройденное расстояние рассчитываются исходя из определения времени, которое было затрачено объектом на передвижение между точками, имеющими конкретные координаты [4/]

Спутниковый приемник до старта измерений должен быть снабжен альманахом — таблицей, отражающей положения всех спутников, которая сохраняется в памяти устройства и используется при необходимости. Зная расстояния до спутников, можно определить пространственное расположение объекта на основе альманаха при помощи геометрических построений.

Спутниковое оборудование для GNSS составляют три основных элемента:

- приемник — представляет собой устройство, используемое для определения географических координат настоящего местоположения приемной антенны на основе информации о временных задержках прихода сигналов. Прибор получает, обрабатывает данные, поступающие от спутников, а также записывает их в память или на внешний носитель;
- антенна — элемент, принимающий сигнал со спутника;
- контроллер — прибор, управляющий работой приемника, который также проверяет характеристики системы наведения антенны во время ее работы [4].

## **1.2 МЕТОДИКИ ПОВЕРКИ ПРИБОРОВ ДЛЯ СПУТНИКОВЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ**

Настоящая методика поверки распространяется на аппаратуру геодезическую спутниковую LT700H, производства Shanghai Huace Navigation Technology Ltd. (далее - аппаратуру) и устанавливает методику ее первичной и периодической поверки. Выполнение всех требований настоящей методики обеспечивает прослеживаемость поверяемого средства измерений к следующим государственным первичным эталонам: ГЭТ 199-2018 - ГПСЭ единицы длины в диапазоне до 4000 км. В методике поверки реализован следующий метод передачи единиц: метод прямых измерений. Интервал между поверками - 1 год.

Требования к условиям проведения поверки при проведении поверки должны соблюдаться, следующие нормальные условия измерений: - температура окружающей среды, °C  $20\pm5$ . Полевые измерения (измерения на открытом воздухе) должны проводиться при отсутствии осадков, порывов ветра и при температуре окружающей среды в диапазоне от минус 20 до плюс 60 °C .

Требования к специалистам, осуществляющим поверку к проведению поверки допускаются лица, изучившие эксплуатационную МП АПМ 18-21 документацию на аппаратуру и средства поверки, и аттестованные в качестве поверителя средств измерений в установленном порядке.

Метрологические и технические требованиям к средствам поверки При проведении поверки должны применяться эталоны и вспомогательные средства поверки.

Пример возможного средства поверки с указанием наименования, заводского обозначения, а при наличии - обозначения типа, модификации Основные средства поверки, рабочие эталоны 2-го разряда по Государственной поверочной схеме для координатно-временных средств

измерений, утверждённой Приказом Росстандарта от 29.12.2018 г.. № 2831 - фазовый светодальнометр (таксиметр), эталонный базисный комплекс Таксиметр электронный Leica TS30 (регистрационный номер № 40890.09.2Р.00102977 в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений) [3, с 220].

Средство измерений длины по Государственной поверочной схеме для средств измерений длины в диапазоне от МО"6 до 100 м и длин волн в диапазоне от 0.2 до 50 мкм, утвержденной приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от «29» декабря 2018 г. - рулетка измерительная Рулетка измерительная металлическая.

Средство фазовых измерений приращения координат по сигналам ГНСС в диапазоне от 1 до 50 км с абсолютной погрешностью измерений приращений координат не более: в режиме «Статика»: - в плане  $\pm 2-(40+1-10''6 \text{ -D})$  мм - по высоте  $\pm 2- (80+1 \cdot 10'6 \text{ -D})$  мм Аппаратура геодезическая спутниковая LEICA GS10 в комплекте с антенной AS 10 (пер. № 61947-15), зав. №1335530, свидетельство о поверке № АПМ 0013346 .

Допускается применять другие средства поверки, обеспечивающие определение метрологических характеристик с точностью, удовлетворяющей требованиям настоящей методики поверки.

Требования (условия) по обеспечению безопасности проведения поверки , при проведении поверки, меры безопасности должны соответствовать требованиям по технике безопасности согласно эксплуатационной документации на аппаратуру и средства поверки, правилам по технике безопасности, действующим на месте проведения поверки, а также правилам по технике безопасности при производстве топографо-геодезических работ ПТБ-88 (Утверждены коллегией ГУГК при СМ СССР 09.02.1989 г., № 2/21). МП АПМ 18-21.

При внешнем осмотре должно быть установлено соответствие аппаратуры следующим требованиям: - соответствие внешнего вида аппаратуры описанию типа средств измерений: - отсутствие механических

повреждений и других дефектов, способных оказать влияние на безопасность проведения поверки или результаты поверки. - наличие маркировки и комплектности, необходимой для проведения измерений, согласно требованиям эксплуатационной документации на аппаратуру. Если перечисленные требования не выполняются, аппаратуру признают пригодной к применению, дальнейшие операции и поверки не производят.

Подготовка к поверке и опробование средства измерений, перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

- проверить наличие действующих свидетельств о поверке на средства поверки;
- аппаратуру и средства поверки привести в рабочее состояние в соответствии с их эксплуатационной документацией;
- аппаратура должна быть установлена на специальных основаниях (фундаментах) или штативах, не подвергающихся механическим (вибрация, деформация, сдвиги) и температурным воздействиям.

При опробовании должно быть установлено соответствие аппаратуры следующим требованиям:

- отсутствие качки и смещений неподвижно соединенных деталей и элементов аппаратуры;
- правильность взаимодействия с комплектом принадлежностей; работоспособность всех функциональных режимов в соответствии с эксплуатационной документацией.

Проверку идентификационных данных программного обеспечения (далее - ПО) проводить следующим образом: - для идентификации ПО «LandStar 7», установленного на контроллер, следует запустить ПО, перейти на вкладку «Настройки», открыть меню «ПО». Номер версии отображается в первой строке данного меню; - для идентификации МПО, установленного в аппаратуру, необходимо в рабочей среде Android открыть меню «Настройки», выбрать пункт «Система», затем выбрать пункт «О планшете». Номер версии

отобразится в строке «Gnss Version». - для идентификации ПО «CHC Geomatics Office», установленного на персональный компьютер, необходимо запустить ПО, в главном экране выбрать вкладку «Поддержка», затем выбрать пункт «О программе»[2, с 180].

Проверка проводится при устойчивом закреплении поверяемой аппаратуры, открытом небосводе, отсутствии электромагнитных помех и многолучевого распространения сигнала спутников, а также при хорошей конфигурации спутниковых группировок. - после выполнения инициализации или достижения сходимости. Выключить аппаратуру согласно требованиям руководства по эксплуатации. Результат измерений не должен отличаться от значения , полученного до начала съёмки аппаратурой, более чем на величин}' погрешности, приписанную эталонному тахеометру. В случае, если измеренная длина базиса отличается от значения , полученного до начала съёмки аппаратурой, более чем на величину погрешности, необходимо повторить съёмку аппаратурой заново.

Следует последовательно устанавливать аппаратуру на пунктах, образующих треугольник и согласно руководству по эксплуатации выполнить измерения и вычислить приращения координат между пунктами. Определение диапазона и абсолютной погрешности измерений длин базисов в режиме «Кинематика в реальном времени (RTK)» Диапазон и абсолютная погрешность измерений длины базиса в режиме «Кинематика» определяются путем многократных измерений (не менее 10) интервала эталонного базисного комплекса или контрольной длины базиса, определённой фазовым светодальномером (такеометром).

Диапазон и абсолютная погрешность измерений длины базиса в режиме «Дифференциальный кодовый (DGPS)» определяются путем многократных измерений (не менее 10) интервала эталонного базисного комплекса или контрольной длины базиса, определённой фазовым светодальномером (такеометром), 2 разряда в соответствии с 6 МП АПМ 18-21 Государственной поверочной схемой для координатно-временных средств измерений,

утверждённой Приказом Росстандарта от 29.12.2018 г. № 2831 и действительное значение которого расположено в диапазоне от 0 до 30,0 км. Установить испытываемую аппаратуру на пункте при помощи адаптера для закрепления на штативе таким образом, чтобы ось внешней ГНСС-антенны была вертикальной и находилась над центром пункта.

В качестве базовой станции использовать средство фазовых измерений приращения координат по сигналам ГНСС в диапазоне от 1.0 до 30.0 км с погрешностью измерений приращений координат в режиме «статика» не более: - в плане  $(40+l-10'6-D)$  мм; - по высоте  $(80+l-10'6-D)$  мм. где D - измеряемое расстояние в мм. Измерить высоту установки антенн аппаратуры с помощью рулетки. Включить аппаратуру и настроить ее на сбор данных (измерений) в соответствующем режиме измерений согласно требованиям руководства по эксплуатации[5,с 250].

### **1.3 ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СПУТНИКОВЫХ МЕТОДОВ В ГЕОДЕЗИИ**

Высокая точность современных спутниковых координатных определений на линиях различной протяженности в сочетании с возможностью проведения измерений в самых разнообразных физико-географических условиях создали предпосылки для эффективного использования спутниковых методов при решении широкого круга задач прикладной геодезии. В последние годы такие методы стали все чаще использоваться при строительстве тоннелей, сооружении мостов, проложении магистральных трубопроводов, создании и дальнейшей эксплуатации линейных ускорителей заряженных частиц и других крупных инженерных сооружений.

Специфика использования спутниковых методов на вышеупомянутых видах работ состоит не только в оперативном определении координат замаркированных точек с высокой точностью, но и в разработке методов определения ориентирных направлений. При этом измерения приходится, зачастую, проводить в условиях частичной экранировки поступающих от спутников радиосигналов различными видами конструкций создаваемых объектов. Отмеченные особенности обуславливают целесообразность разумного сочетания наземных и спутниковых методов геодезических измерений, объединяющих в себе 280 спутниковую приемную аппаратуру с такими традиционными геодезическими инструментами, как теодолиты, тахеометры, нивелиры и створные лазерные системы.

Применительно к строительству тоннелей с использованием спутниковых методов последние применяют с целью построения наземных высокоточных геодезических сетей, перекрывающих всю площадь между входными порталами и устанавливающих связь с опорными сетями соответствующего класса.

При создании тоннелей в сложных рельефных условиях преимущество спутниковых методов становится наиболее ощутимым. Накопленный к настоящему времени опыт на такого вида работах свидетельствует о том, что при расстоянии между порталами до 10 км спутниковые методы обеспечивают точность на уровне около 1 см. Отработанные на их основе специализированные методы определения ориентирных направлений обеспечивают разрешающую способность на уровне около одной угловой секунды при взаимном расстоянии между пунктами не менее 400 м [90].

При создании различного рода дамб возникает необходимость проведения геодезических работ не только в процессе строительства, но и при дальнейшей их эксплуатации с целью идентификации и анализа возникающих деформаций и смещений элементов конструкции, находящихся под большим внешним давлением[4].

Для достижения повышенной точности получаемой информации и ее объективности спутниковые методы во многих случаях объединяют с наземными методами, базирующимися на использовании тахеометров и высокоточных нивелиров. Совместное использование перечисленных выше технических средств и методов позволяет своевременно и достаточно надежно выявлять опасные деформации и смещения. Примером описанного подхода может служить Сергиево-Посадская гидроаккумулирующая электростанция. На этом объекте для слежения за деформациями и смещениями наиболее ответственных компонентов конструкции гидроузла использованы в комплексе наземные и спутниковые геодезические методы. При этом пункты, ответственные за величину изучаемых деформаций, закреплены непосредственно на компонентах конструкции гидроузла, а опорные пункты, относительно которых определяются деформации и смещения, размещены на окружающей территории за пределами электростанции.

Полученные результаты исследований свидетельствуют о том, что разрешающая способность использованных комплексных методов соответствует нескольким миллиметрам как в плановой плоскости, так и по высоте. При выполнении геодезических работ на таких крупных инженерных сооружениях, как современные линейные ускорители заряженных частиц, основные особенности связаны с тем, что замаркированные пункты располагаются практически на одной прямой.

Конфигурация геодезической сети на Стэнфордском линейном ускорителе При использовании наземных методов, основанных на измерении углов и расстояний, возникает необходимость в организации дополнительных пунктов с целью улучшения геометрии сети, что неизбежно приводит к неоправданным дополнительным технико-экономическим затратам и другим осложнениям. В отличии от наземных методов спутниковые методы не столь критичны к геометрии расположения пунктов и сказываются вполне

пригодными для обеспечения требуемой точности координатных определений на пунктах, расположенных вдоль прямолинейной трассы.

На ускорителях рассматриваемого типа в местах стыковки необходимо обеспечить миллиметровый уровень точности как в плане, так и по высоте. Для удовлетворения столь высоких требований так же, как и в предыдущем случае, возникает необходимость в комплексном использовании наземных и спутниковых технических средств. На основе анализа спутниковых измерений на упомянутом ускорителе в Стэнфорде установлено, что в горизонтальной плоскости размеры больших полуосей эллипсов стандартных уклонений не превышают 3 мм.

Для оценки точности вертикального компонента было выполнено сравнение разностей высот над выбранным референц-эллипсоидом (что характерно для спутниковых измерений) с разностями нивелирных высот. Полученное расхождение оказалось равным 5 мм, что объясняется недостаточно строгим учетом наклона поверхности квазигеоида.

Для выверки створности установки элементов конструкции линейного ускорителя была применена створная лазерная система, позволяющая определять уклонения от оси линейного базиса, имеющего длину около 3 км, с точностью лучше, чем 0,1 мм. Использование для 282 этих целей векторных решений, основанных на применении GPS, обеспечило расхождения, не превышающие  $\pm 1$  мм.

Особенности применения спутниковых технологий в морской геодезии Характерная особенность решения задач, относящихся к морской геодезии и базирующихся на использовании спутниковых технологий, состоит в том, что в отличии от задач, связанных с судовождением, местоположения специализированных плавсредств определяются на более высоком уровне точности (единицы метров, а иногда и десятые доли метров). При этом все измерения выполняют в реальном масштабе времени, а получаемые результаты согласовывают с другими техническими средствами, используемыми для

определения тех величин, которые, в конечном счете, интересуют потребителей. Возможные области применения спутниковых методов в морской геодезии принято разделять на две условные группы, исходя из требований, предъявляемых к уровню точности. К первой группе, для которой требования к уровню точности ограничиваются несколькими метрами, могут быть отнесены такие сферы применения, как: - промерные работы на акваториях гаваней, в прибрежных водах и на внутренних водоемах; - картографирование морского дна в территориальных зонах экономического развития или в научных целях; - определение мест нахождения тех или иных подводных датчиков и соответствующих технических средств, используемых при морских изысканиях полезных ископаемых; - выполнение гидрографических работ; - проведение точных гравиметрических и сейсмических съемок [1].

При решении перечисленных задач преимущественное распространение получил дифференциальный метод спутниковых измерений, базирующийся на использовании кодовых сигналов. При таком режиме работы референцная станция располагается, как правило, на берегу в точке с известными координатами, а мобильная станция на борту используемого плавсредства. Для реализации дифференциального режима измерений поправки, определяемые на референцной станции, передаются по радиоканалу на бортовую мобильную станцию, где и производятся оперативные вычисления уточненного местоположения плавсредства.

Отмеченные поправки представляют собой, как правило, поправки к измеренным до соответствующих спутников расстояниям, а не поправки к координатам референцной станции. Такой подход позволяет оперировать с информацией, относящейся к одним и тем же спутникам, наблюдаемым с референцной и мобильной станций.

Передача дальномерных поправок с референцной станции на мобильную осуществляется с использованием стандартизированного формата, разработанного Радиотехническим комитетом морской службы (РТСМ). Этот

формат предусматривает возможность передачи по радиоканалу достаточно широкого набора данных.

В качестве референцных станций при решении задач морской геодезии могут быть использованы также и постоянно действующие радиомаяки, основанные на применении спутниковых систем типа GPS или ГЛОНАСС. Ко второй группе, охватывающей области применения спутниковых технологий в морской геодезии, которые требуют обеспечения наиболее высокого уровня точности, могут быть отнесены: — работы, связанные с обслуживанием береговых инженерных сооружений; - контроль за положением расположенных на морской поверхности платформ, используемых при проведении работ, связанных с добычей нефти, газа и других полезных ископаемых; - управление драгами, ведущими дноочистительные работы на акваториях гаваней, в устьях рек и на других видах водоемов; — изучение геодинамических процессов на акваториях морей и океанов. Обеспечение требуемого высокого уровня точности на таких видах работ достигается, как правило, за счет использования фазовых методов спутниковых измерений, которые рационально сочетаются с псевдодальномерными (кодовыми) методами.

Основная трудность реализации таких комбинированных методов сводится к необходимости надежного и оперативного разрешения неоднозначностей характерных для фазовых измерений в условиях установки мобильной станции на движущемся объекте [5, с 250].

## **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Свободный сайт Энциклопедия Википедия[Электронный ресурс] URL:<https://ru.wikipedia.org/wiki> (дата обращения 13.03.2025).
2. . Павлов, Н.А. Геодезия: история и современность / Н.А. Павлов. – Москва: Научный мир, 2023. – 180 с. – (Научные исследования). ISBN 978-5-89355-448-1. Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL:<https://urait.ru/btcde/893894> (дата обращения 13.03.2025).
3. Сидоров, А.Р. Геодезия: практический курс / А.Р. Сидоров. – Екатеринбург: УрФУ, 2021. – 220с.- ( Профессиональное образование ) ISBN 978-5-7996-0950-6. Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/btcde/469428> (дата обращения 14.03.2025).
4. Официальный сайт Хабр [Электронный ресурс]URL:<https://habr.com/ru/articles/235283/>(дата обращения 15.03.2025).
5. Макаров, К.Н. Инженерная геодезия: учебник для вузов / К.Н. Макаров. – 3-е изд., переработ. и доп. – Москва: Издательство Юрайт, 2024. – 250 с. – (Высшее образование). ISBN 978-5-534-17493-9. – Текст: электронный // Образовательная платформа 9 Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/btcde/533194> (дата обращения 16.03.2025).