Лекция 1. СПУТНИКОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА

ТОПОГРАФО – ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ РАБОТ

Спутниковые методы в настоящее время используются практически для решения любых инженерно – геодезических задач: от создания опорных государственных геодезических сетей любого класса, разрядного и съемочного геодезического обоснования, до непосредственного выполнения съемочных работ, геодезического обеспечения строительства важнейших промышленных, гражданских и военных объектов, в горном деле, геологии, землеустройстве и во многих других областях.

В зависимости от характера инженерно – геодезических задач спутниковые методы различаются по технологии и продолжительности выполнения полевых наблюдений, необходимого приемного оборудования спутниковых сигналов и еготехнического оснащения, полноте программного обеспечения процесса постобработки полевого материала и др.

РЕЖИМЫ СПУТНИКОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

В зависимости от точности проектируемых инженерно-геодезических работ режимы спутниковых наблюдений подразделяют на абсолютные и относительные. Абсолютное координирование выполняется одним приемником спутниковых сигналов, расположенным непосредственно в определяемом пункте. Точность навигационных определений в стандартном С/А-коде GPS составляет 100 -200 метров, при использовании дополнительного Р-кода – 10 - 20 метров.

При относительном координировании определяют приращения координат (базовую линию) между двумя пунктами. При этом используют как минимум два приемника спутниковых сигналов. Один из приемников располагается в пункте с известными координатами, второй – на определяемом пункте. При использовании двухчастотных спутниковых приемников и при расстоянии между пунктами порядка 10 -15 км точность базисных измерений может составлять несколько миллиметров. Относительное координирование подразделяют на статическое и кинематическое (иначе – динамическое).

Статический режим является основным при создании высокоточных и точных геодезических сетей. Наблюдения в этом режиме на каждом отдельном пункте при обязательном использовании 2-х частотных приемников могут составлять около часа и более.

Быстростатический режим предполагает уменьшение времени наблюдений ( до 5-10 минут) при использовании качественных двухчастотных измерений на каждом отдельном стационарном геодезическом пункте. Информацию о достаточном времени приема спутниковых сигналов для разрешения неоднозначности фазовых измерений дает приемник.

Псевдокинематический способ предполагает уменьшение времени наблюдений по сравнению со статическим за счет использования двух 5-10 минутных периодов наблюдений, разделенных часовым и более интервалов, с тем чтобы изменилось взаимное расположение (геометрия засечки) наблюдаемых пунктов.

Кинематический режим предполагает выполнение одновременных спутниковых наблюдений неподвижным базовым (референцным) и подвижным (мобильным, роверным) приемниками. Базовый приемник устанавливают на исходном твердом пункте геодезической сети. Роверный приемник перемещается по пунктам вновь создаваемой геодезической сети, останавливаясь на каждом пункте для сбора информации.

Первоначальные наблюдения на первом пункте выполняют в статическом режиме длительностью иногда более часа для разрешения неоднозначности фазовых измерений в данных пунктах и определения исходного вектора базы. Этот процесс называют инициализацией измерений. После завершения этого процесса, переключив оба приемника в режим кинематики, роверный приемник перемещают на следующий пункт, где выполняют сбор информации спутниковых измерений в режиме статики в течение довольно краткосрочного периода, так как во втором пункте нет необходимости повторять процесс инициализации. После завершения достаточного объема спутниковых измерений (сигнал приемника) последний переключается в роверный режим и перемещается на следующий пункт. Этот процесс измерений иногда называют ″стой-иди″ (stop-and-g o). При перемещении приемник должен захватывать сигналы не менее четырех спутников. В случае потери сигнала хотя бы одного спутника из-за препятствий во время движения (высокие сооружения, густая лесополоса, горная местность и др.) процесс разрешения неоднозначности во время движения нарушен и необходимо вернуться на предыдущий пункт.

В процессе постобработки координаты пунктов определяются с погрешностью нескольких сантиметров.

Кинематика (иногда этот режим называют динамическим) является основным режимом сгущения съемочного геодезического обоснования.

Кинематика в реальном времени (real time kinematics – RTK). В этом режиме координаты пунктов (съемочных точек) получают непосредственно в процессе полевых измерений. Технология координирования основана на передаче поправок в измеренное значение псевдодальностей роверным приемником от референцного через специальное устройство связи (радиомодем). Референцный приемник формирует первые разности фазовых измерений и передает их на роверный приемник, где формируются вторые и т.д. разности фазовых измерений (см.4.2.3) и вычисляются в течение нескольких секунд координаты съемочного пункта (пикета).

Этот режим наблюдений в сочетании с электронными тахеометрами наиболее эффективен при выполнении различных видов инженерно – геодезических изысканий и площадных топографических съемок различного масштаба от 1:500 и мельче.

Лекция 2. ИСТОЧНИКИ ОШИБОК СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Точность геодезических спутниковых измерений зависит от многочисленных факторов, основными из которых являются: чисто технические проблемы и ограничения кодовых и фазовых измерений; принятый режим и программа определения навигационных параметров; конструктивные особенности используемого технического оборудования; полнота программного обеспечения компьютерной обработки полевых измерений в процессе постобработки; погрешности эфемерид ИСЗ; геометрический фактор спутниковых наблюдений; принятая методика учета тропосферного и ионосферного распространения сигналов и многое другое. Большинство из этих факторов при должном техническом оснащении приемной аппаратурой спутниковых сигналов неподвластно влиянию непосредственному исполнителю полевых работ. Очевидно, что для точных геодезических измерений необходимо использовать только двухчастотные приемники спутниковых сигналов. Основное их достоинство – это возможность использования дисперсионного метода учета ионосферной задержки спутниковых сигналов. При этом следует иметь в виду, что двухчастотный метод измерений позволяет практически полностью учитывать ионосферную задержку сигналов только при одинаковой геометрической длине пути двух радиочастот, что действительно только для зенитных расстояний наблюдений не более 500 в условиях минимальной ионизации атмосферных слоев. Тропосферное запаздывание сигналов при этом учитывается только с использованием эмпирических методов, исходными которых являются в основном метеорологические условия в пункте расположения спутникового приемника, отметка станции и зенитное расстояние наблюдений. Погрешность этих методов в условиях повышенной влажности и при зенитных расстояниях наблюдений более 600 может иметь довольно значимую величину. Единственный метод исключения остаточных погрешностей учета ионосферной и тропосферной задержек спутниковых сигналов это расположение базовой и роверной станций так, чтобы зенитные расстояния приема сигналов от одного и того же ИСЗ были практически одинаковы, что возможно при величине базовой линии не более 10 км и при небольших превышениях между станциями. В сложных климатических условиях это расстояние целесообразно еще более уменьшать. Очевидно, что ионосферное влияние на распространение спутниковых радиосигналов минимально при измерениях в ночных зимних условиях – в условиях наименьшей ионизации атмосферных слоев. Тропосферное – в периоды пониженной влажности атмосферы и наименьшего значения индекса преломления в пункте наземного приемника.

К техническим проблемам и соответственно погрешностям спутниковых измерений следует отнести несинхронность часов спутников и наземного приемника, а также несинфазность их генераторов несущей частоты. Уменьшение технических погрешностей спутниковых измерений добиваются увеличением количества наблюдаемых ИСЗ, до пяти и более спутников, и продолжительности сбора информации в определяемом пункте.

К погрешностям определения положения геодезических пунктов относятся также приближенные значения (до 20 и более метров) эфемерид спутников, включенных в обработку материалов полевых наблюдений. Как отмечалось ранее (см. 4.1) трансляция эфемерид спутников в навигационном сообщении является широковещательной информацией, основанной на экстраполяции более ранних данных наблюдения ИСЗ с наземных станций слежения и отнесенных к референцному моменту, не совпадающему со временем производства спутниковых измерений. Более достоверные эфемериды спутников (порядка 2-3м) получают в процессе постобработки, используя уточненные данные, содержащиеся в файле эфемерид при последующих навигационных сообщениях. Влияние погрешностей эфемерид ИСЗ на определение базовых линий длиной около 10 км можно уменьшить в процессе постобработки до 1 -2 мм.

Высотное положение геодезических пунктов из-за погрешностей эфемерид определяется более грубо, чем плановое. Анализ различных режимов и методов спутниковых измерений показывает, что непосредственное определение как плановых, так и высотных координат геодезических пунктов достигается с погрешностями того же порядка, что и погрешности эфемерид ИСЗ. Поэтому высокоточные результаты можно получить только для разностей координат и высот пары геодезических пунктов.

От составления программы и методики полевых измерений зависят погрешности, обусловленные влиянием отражающих поверхностей и геометрическим фактором пространственной засечки.

На рис.4.8 показаны возможные отраженные сигналы от подстилающих и боковых поверхностей, попадающие одновременно с основным (прямым) сигналом на антенну приемной станции. При этом амплитуда отраженного сигнала по отношению к амплитуде прямого будет в общем случае меньше в k раз, где 0<k<1 – коэффициент отражения сигнала. При суперпозиции (сложении) двух сигналов, суммарный сигнал по отношению к прямому будет иметь ту же несущую частоту, но отличаться по амплитуде и фазе колебаний. Так, например, если прямой сигнал выразить уравнением

*х(t) = A1· Cosφ1*, (1)

а отраженный

*у(t) = A2 ·Cosφ2,,* (2)

то результирующий сигнал определится уравнением

*z(t) = х(t) + у(t) = А·Соѕφ,* (3)

где амплитуда А и фаза колебания φ определятся из выражений

*А2 = А21  +А22 + 2А1 А2 · Соѕ( φ1 - φ ),* (4)

где *φ1  - φ = ∆φ* – искажение фазы прямого сигнала.

*tg∆φ = (А1· Sinφ1 + А2· Sinφ2) / (А2· Соѕφ1 +А2· Соѕφ2).* (5)

При сильном отраженном сигнале величина искажения фазы может достигать 900, т.е. линейная погрешность фазовых измерений может достигать четверти длины волны несущей частоты, что для длин волн несущих частот системы NAVSTAR может составлять 5 – 6 см.

Уменьшение влияния отраженных сигналов необходимо предусматривать в стадии планирования спутниковых наблюдений, то есть не располагать станции

вблизи явных отражающих поверхностей. В конструктивном отношении уменьшение влияния отраженных сигналов добиваются формированием в антенне приемника диаграммы направленности коэффициента усиления, т.е. использовать диаграмму минимального усиления сигналов, имеющих направленность, близкую к горизонту. Большая часть фазовых искажений отраженными сигналами обнаруживается и исключается в стадии постобработки материала.

В процессе проектирования спутниковых измерений необходимо предусматривать также наблюдения, когда расположения спутников на небесной сфере создают наиболее благоприятный геометрический фактор пространственной засечки.

В радиогеодезических наземных системах при измерении дальностей ″твердый пункт – подвижный объект″ линией положения объекта является окружность с радиусом, равным измеренной наклонной дальности. Пересечение двух таких линий положения определяет навигационные параметры объекта. Задача в этом случае решается на плоскости. При измерении разностей расстояний до двух твердых пунктов линией положения является гипербола с фокусами в пунктах расположения этих пунктов. В случае спутниковых измерений задача решается в пространстве, т.е. в этом случае мы имеем дело с изоповерхностями в виде сфер или гиперболоидов. Пересечение сфер при дальномерных измерениях под углом около 900 дает более определенное положение пункта. Пересечение гиперболоидов происходит с более острыми или более тупыми углами и местоположение объекта определяется значительно грубее. Если расположение наблюдаемых спутников таково, что геометрический фактор не уменьшает точности определения положения объекта, соответствующей точности измеряемых параметров, то говорят, что DOP (Dilution Of Precision) – падение точности из-за геометрии наблюдений не происходит. Обычно DOP определяется в виде коэффициента, характеризующего падение точности решения навигационных параметров из-за геометрического фактора пространственной засечки (рис. 5.1).

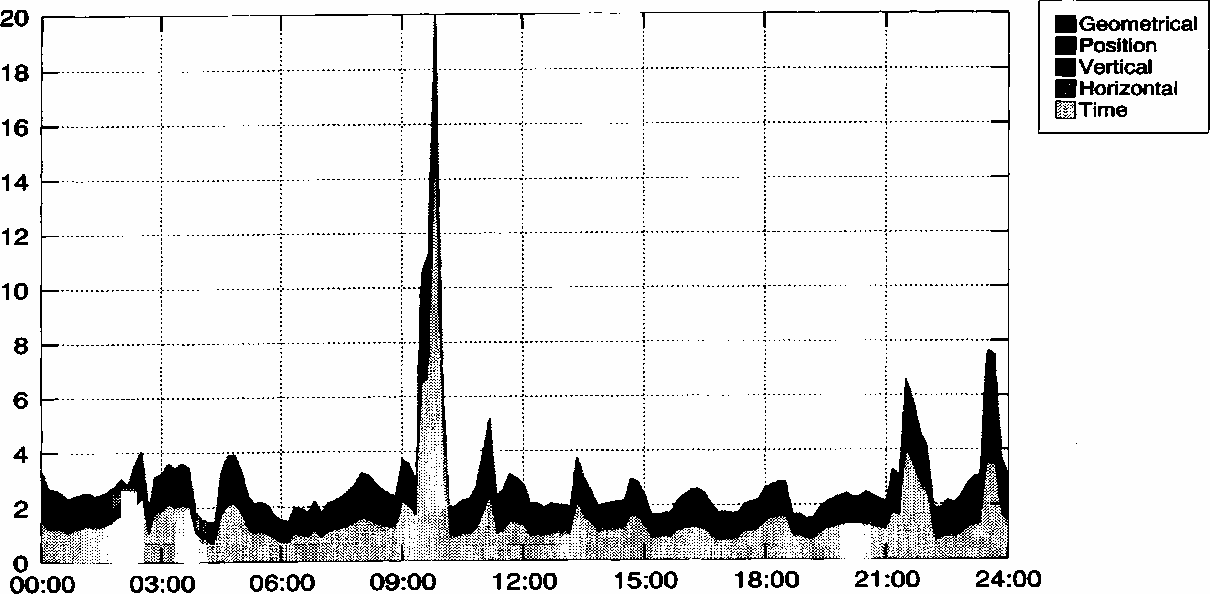
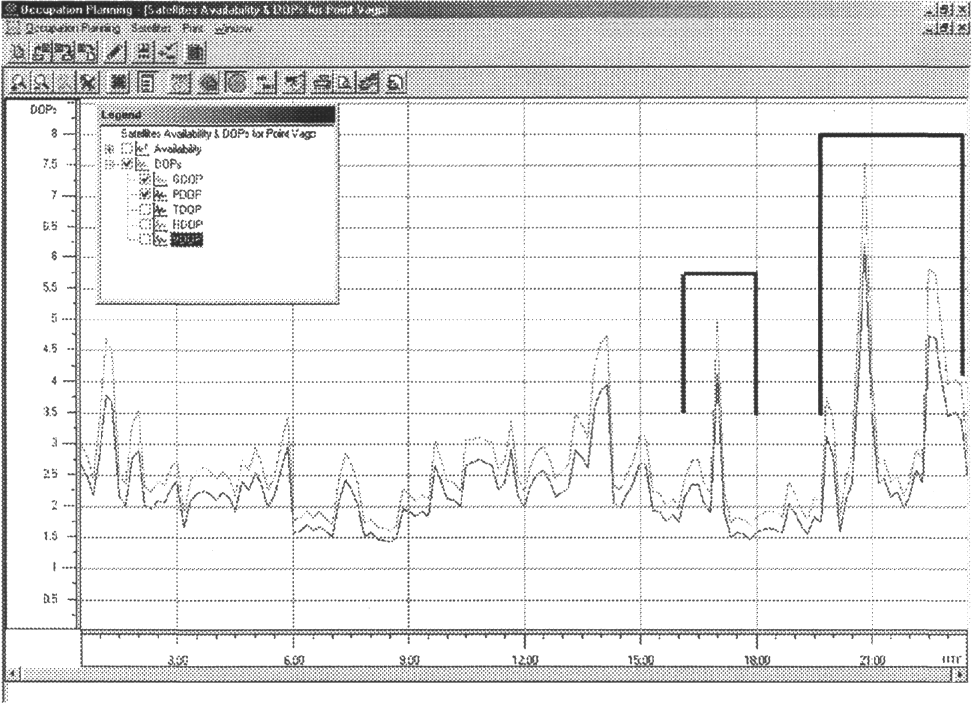


Рис.1. Влияние спутниковой геометрии на результаты измерений

В лучшем случае DOP может быть равен единице, в остальных случаях он более единицы. Существует несколько градаций DОР: НDОР (Horisontal DOP) – отражает влияние спутниковой геометрии на точность определения плановых координат; VDOP (Vertikal DOP) – отражает влияние спутниковой геометрии на точность высотных определений (вертикали); PDOP (Position DOP) – характеризует влияние геометрического положения спутников на точность определения пространственных координат. Сумма квадратов HDOP и VDOP дает квадрат PDOP. ТDOP (Time DOP) – отражает влияние геометрического фактора расположения ИСЗ на точность синхронизации часов спутника и наземного приемника. Сумма квадратов РDОР и ТDОР дает квадрат GDOP (Geometrical DOP), характеризующего совместное влияние спутниковой геометрии на точность определения пространственных координат и синхронизации часов спутника и приемника. Из большинства спутников, расположенных в зоне действия приемника, последний вычисляет и выдает на дисплей PDOP для спутников, наиболее удачно в геометрическом отношении расположенных относительно приемника.

На рис.2 представлен график понижения геометрического фактора, поясняющий принцип выбора благоприятных и отбраковки неблагоприятных для измерения интервалов времени.

 --------- окна благоприятные для измерений

∏ - окна не благоприятные для измерений

Рис. 2. График понижения геометрического фактора

Обычно считается, что для высокоточных геодезических измерений PDOP не должен превышать трех единиц. При геодезическом обеспечении изысканий и строительства наиболее типовых и массовых гражданских объектов обычно PDOP не должен превышать семи. Однако допустимое значение PDOP устанавливается обычно для конкретно решаемых задач на основании производственного опыта, вида используемого технического оборудования, широты и климатических условий измерений и ряда других факторов. Очевидно, что для одного и того же значения PDOP наилучшие результаты получают при использовании более совершенного приемника спутниковых сигналов.

В настоящее время спутниковые приемники выпускаются практически для выполнения всех видов инженерно-геодезических работ, обеспечивая необходимую точность, высокую производительность и автоматизацию измерительного процесса. Геодезические спутниковые приемники имеют возможность установки антенны на штативе, являются фазовыми одно - или двухчастотными, многоканальными (более 12-ти каналов) с возможностью наблюдений практически всех навигационных спутников в заданном диапазоне зенитных расстояний. Если геодезический приемник имеет возможность приема сигналов GPS и ГЛОНАСС, то в измерительном процессе он использует не менее 20-ти каналов. Геодезические приемники и вспомогательное техническое оборудование различных производителей постоянно развивается и совершенствуется, однако по функциональным возможностям они практически все идентичны. В комплект их могут входить и дополнительные устройства, например, радиомодемы, контроллеры (накопители информации), штанги, центриры и другое оборудование.

Неотъемлемой составной частью геодезических приемников спутниковых сигналов является программное обеспечение для обработки материалов наблюдений. Программы разделяются на обязательные, входящие в комплект любого спутникового приемника и предназначенные для первичной обработки материалов спутниковых наблюдений, свойственных при решении любых инженерно – геодезических задач. Основная их задача – автоматизировать процесс планирования, ведения и контроля качества полевых измерений, уравнивание геодезических построений, преобразование координат и оценка точности конечного результата. И на дополнительное программное обеспечение, не входящее в комплект спутниковой аппаратуры, а предлагается потребителю на коммерческой основе для выполнения специальных нестандартных геодезических измерений, научных исследований или для решения специальных инженерно-геодезических задач.

От полноты программного обеспечения зависит как полноценный контроль качества полевых наблюдений, так и точность документации проектируемых инженерно-геодезических работ.

Лекция 3. ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СПУТНИКОВЫМИ

МЕТОДАМИ

Процесс развития опорных геодезических сетей различного класса точности спутниковыми методами во многих отношениях организационного плана совпадает с методикой создания опорных геодезических сетей классическими методами на основе развития триангуляции, трилатерации и линейно-угловых построений.

В настоящее время с развитием системы ГЛОНАСС для создания опорных геодезических сетей целесообразно совместное использование двух спутниковых радионавигационных систем – GPS и ГЛОНАСС, что позволит повысить точность измерений, их надежность, достоверность и сократить время полевых наблюдений.

GPS и ГЛОНАСС работают в гринвичской пространственной прямоугольной геодезической системе координат с началом в центре массы Земли. Ось Х лежит на пересечении плоскости экватора и плоскости гринвичского меридиана, ось У в плоскости экватора дополняет систему координат до правой, ось Z направлена на условный земной полюс, соответствующий среднему за 1900 -1905 г.г. его положению, принятому в качестве Международного Условного Начала (МУН).

Системы координат СРНС GPS и ГЛОНАСС приняты независимо друг от друга и имеют между собой принципиальное отличие: в GPS система координат принята WGS – 84 (Word Geodetic System, 1984); в ГЛОНАСС – система координат ПЗ-90 (Параметры Земли, 1990). Это различие обусловлено принятыми параметрами земного эллипсоида (см. 3.7.2 – 3.7.4).

Основными этапами проектирования, планирования и производства спутниковых измерений при создании опорной геодезической сети являются:

- сбор материалов;

- составление технического и рабочего проектов выполнения топографо – геодезических работ;

- рекогносцировка и планирование спутниковых наблюдений;

- подбор технического оборудования и метрологическое обеспечение спутниковых измерений;

- закладка центров пунктов геодезической сети;

- спутниковые геодезические измерения;

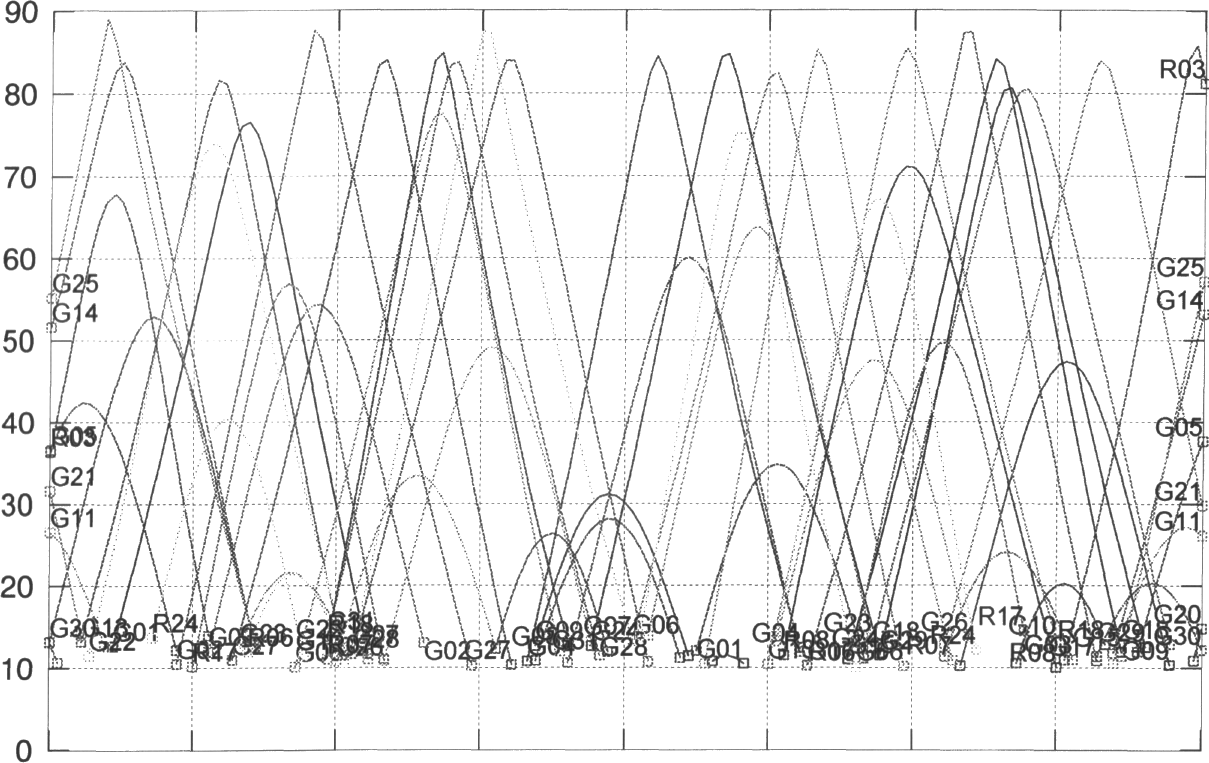
- постобработка спутниковых наблюдений;

- составление технического отчета и сдача материалов по созданию опорной геодезической сети в Инспекцию Госгеонадзора.

Планирование спутниковых наблюдений

Исходными для планирования спутниковых наблюдений являются: геометрическая схема проектируемой геодезической сети, приближенные координаты пунктов, планируемый период производства полевых измерений, диаграмма препятствий для каждого пункта, альманах системы (рис.4 ).

**EleyaHon**



00:00 03:00 06:00 09:00 12:00 15:00 18:00 21:00

Рис. 4. Альманах созвездия ИСЗ

Для определения альманаха (приближенных эфемерид) всех спутников той или иной СРНС в стадии рекогносцировки геодезической сети достаточно выставить спутниковый приемник в заданном районе на 15-20 минут и скачать полученную информацию в компьютер. В результате чего оператор спутниковых наблюдений перед выездом на полевые работы имеет возможность учитывать количество спутников, находящихся над маской пункта в заданное время наблюдений, и геометрический фактор засечки (PDOP).

При проектировании работ желательно использовать альманах, полученный не более чем за месяц до начала полевых работ. При большем периоде эфемеридная информация о спутниках системы может в значительной степени не соответствовать действительности. С использованием информации альманаха можно буквально до часа проектировать оптимальные периоды спутниковых наблюдений для каждого пункта геодезической сети с учетом индивидуальной маски препятствий на каждом из них. В стадии планирования спутниковых наблюдений уточняется также геометрическая схема геодезической сети, окончательно намечается расположение референцных станций, разрабатывается структура организации наблюдений (программа наблюдений), т.е. определяется продолжительность сеансов наблюдений в зависимости от класса точности геодезической сети и расстояниями между пунктами, утверждаются маршруты перемещения спутниковых приемников между пунктами, составляются окончательно индивидуальные графики спутниковых наблюдений для каждого пункта с учетом маски препятствий и геометрического фактора засечки – PDOP.

Лекция 4. Методика полевых измерений при создании опорной

геодезической сети спутниковой технологией

Полевые измерения при создании опорной геодезической сети выполняются по программе, заложенной в техническом проекте в стадии планирования спутниковых наблюдений. Непосредственно на объекте необходимо загрузить свежий альманах в память приемника. Загрузить данные альманаха необходимо при условии, что данный приемник в проектируемом районе работ не использовался, переместился с прежнего объекта более чем на 200 км или предыдущая загрузка альманаха в заданном районе выполнялась более месяца тому назад. За этот период данные альманаха значительно устарели. Для обновления альманаха после приведения приемника в рабочее положение установить его вблизи района работ на открытой площадке для отслеживания 6-7 спутников и сбора спутниковой информации в течение от нескольких минут до одного часа. Приемник с загрузкой обновленного альманаха, т.е. файла данных, содержащего информацию о прогнозируемых параметрах орбит всех спутников системы, готов для выполнения полевых измерений.

При производстве спутниковых наблюдений используются все способы, перечисленные в разделе 1. Технология наблюдений зависит от модели приемника и программного обеспечения постобработки. При выполнении работ необходимо руководствоваться техническими рекомендациями фирмы – изготовителя приборов.

При развитии опорных геодезических сетей основным является статический режим наблюдений. Данный способ предполагает, что измерения выполняются между двумя и более неподвижными приемниками продолжительный период времени. За это время значительно изменяется геометрическое расположение спутников, что позволяет с большей достоверностью выполнить процедуру разрешения неоднозначности фазовых измерений и использовать пространственную засечку определяемого пункта с минимальным значением PDOP. Продолжительность сеанса проектируется в зависимости от длины базисных линий, количества одновременно наблюдаемых спутников, типа приемника и проектируемого класса точности геодезической сети. Количество наблюдаемых спутников в этом методе должно быть не менее четырех. Интервал записи данных – 20 секунд.

Работа на станции начинается с установки антенны приемника на штативе над центром пункта при помощи оптического центрира. Штатив должен сохранять стабильность положения антенны в течение всего сеанса наблюдений. При наличии ориентирных меток антенна по ним ориентируется на север.

Все спутниковые измерения относят к фазовому центру антенны, поэтому высота установки фазового центра относительно центра геодезического пункта определяется с минимальными погрешностями. Ошибка определения высоты установки антенны влияет на точность определения всех трех координат пункта. Ошибка в значении высоты антенны базовой станции обязательно приводит к погрешностям пространственных координат всех определяемых пунктов. Схема измерения высоты антенны обязательно отмечается в полевом журнале. Измерены рулеткой или специальным жезлом могут быть вертикальная или наклонная высота антенны (рис.5.5). В некоторых марках спутниковых приемников для определения высоты специально одевается на антенну измерительное кольцо. На рис.5 обозначено:

1 – измеренное значение наклонной высоты (SН);

2 – справочное значение радиуса приемника (R);

4 3 – измеренная вертикальная высота (z);

4 – справочное значение высоты приемника (h).

1

3

Рис.5. Схема измерения высоты установки антенны

При известных и измеренных значениях, указанных на рис.2, высота антенны определится как

*Н = z +h*

или

*H*  = **

В зависимости от программного обеспечения наклонная или истинная высота антенны записываются в полевой журнал или портативный контроллер.

Особенно подробно записываются и зарисовываются все промеры при установке антенны над центром без штатива. Все необходимые рекомендации по определению высоты антенны обязательно приводятся в технической документации приемника любой фирмы – изготовителя.

Высота установки антенны измеряется дважды – до и после окончания наблюдений. Если высота антенны в сеансе наблюдений изменилась более 2 мм, наблюдения повторяют. При меньшем значении – в обработке используют среднее значение.

Непосредственные спутниковые измерения начинаются точно по графику, приведенному в техническом проекте. Перед началом измерений вводятся рабочие установки приемников ( интервал записи, сохранение измерений и др.). Интервал записи должен быть одинаковым для всех совместно работающих приемников. После включения приемника необходимо убедиться, что он отслеживает необходимое количество спутников. Во время сеанса в приемник вводится название пункта, высота антенны, код оператора и другая информация, ввод которой предусмотрен Руководством для пользователя. Параллельно ведется журнал полевых наблюдений установленного образца (рис.3). В процессе наблюдений примерно через каждые 15 минут контролируется работа приемника. Проверяется электропитание, сбои в приеме спутниковых сигналов, количество наблюдаемых спутников, значение PDOP. При ухудшении этих показателей рекомендуется увеличить время приема сигналов. При необходимости во время сеанса спутниковых наблюдений измеряются метеопараметры с фиксацией их значений в полевом журнале. В полевом журнале фиксируются также отклонения от нормальной работы станций–отключение электропитания, влияние грозы и т.п.

Когда сбор данных на этих пунктах завершен станции (станция) перемещаются на другие пункты, при этом одна из станций должна остаться на прежнем месте, обычно эта станция базовая. По завершении всей программы полевых работ, предусмотренной техническим проектом, материалы измерений из приемника загружаются в компьютер для постобработки, в процессе которой вычисляются значения базовых векторов для определения координат всех пунктов геодезической сети.

Как отмечалось ранее, статический метод является наиболее точным и простым в отношении организации спутниковых наблюдений, но процесс координирования отдельных геодезических пунктов занимает довольно много времени.

**Лекция 5. Программное обеспечение спутниковых измерений**

Программное обеспечение является неотъемлемой частью технической комплектации приемников спутниковых сигналов. Прилагаемое стандартное программное обеспечение независимо от фирм- изготовителей по своей структуре и функциональному назначению аналогичны и используются для планирования и управления процессом спутниковых наблюдений, а также для постобработки измерений и составления технического отчета. Стандартные программные пакеты различных фирм обычно объединяют модули, каждый из которых предназначен для использования в конкретном процессе спутниковых измерений. Например, целевое назначение модулей практически всех программ - это:

- перенос файлов из приемников в компъютер;

- планирование технологии спутниковых наблюдений с соблюдением технических допусков для данного класса геодезической сети;

- обработка файлов полевых измерений;

- уравнивание геодезических построений;

- ввод технических характеристик существующей и проектной схем геодезической сети на объекте;

- преобразование координат;

- составление отчетной технической документации;

- установка и изменение параметров программы и другие функции.

Перенос файлов из приемника в компьютер предназначен как для планирования спутниковых наблюдений, так и для обработки результатов измерений. Исходной технической информацией при выполнении данных функций являются: информация о станции и приемнике спутниковых сигналов; эфемеридные данные ИСЗ, отнесенные к референцному моменту; текущий альманах орбитальных данных спутников в заданном районе; техническая информация по кодовым и фазовым спутниковым измерениям в конкретном пункте геодезической сети и др.

Программа планирования спутниковых наблюдений с использованием альманаха (данных, передаваемых спутниками радионавигационных систем в навигационных сообщениях, которые включают: информацию об орбитах всех спутников системы, анализ работоспособности ИСЗ, поправок часов спутников, параметры учета атмосферного запаздывания сигнала и др.), примерных координат местоположения пункта, маски ограничений видимости спутников, даты и времени измерений, позволяет выбрать периоды нормальных условий определения навигационных параметров с учетом необходимого количества наблюдаемых спутников и геометрического фактора пространственной засечки.

В итоге программа планирования спутниковых наблюдений решает следующие задачи:

- моделирование на основе рекогносцировки объекта работ схемы препятствий наблюдений на каждом пункте проектной геодезической сети с записью их в компъютерную базу данных;

- составление графиков прохождения ИСЗ в заданном районе с обязательным указанием их номеров на основании компьютерной обработки материалов навигационного сообщения;

- представление в графическом виде количества видимых и доступных для измерений ИСЗ в заданный интервал времени;

- вычисление и представление в графическом виде показателей факторов геометрической засечки, определяющих выбор интервалов времени спутниковых наблюдений с допустимым значением PDOP для заданного класса точности геодезической сети.

Компъютерная программа обработки материалов кодовых и фазовых измерений на различных частотах и, например, на С/А и Р- кодах позволяет определить в дифференциальном методе пространственные векторы различных направлений по материалам одновременных наблюдений в конечных пунктах, приращения прямоугольных пространственных координат ∆Х, ∆Y, ∆Z, наклонную дальность S, эллипсоидальные пространственные координаты B, L, H определяемого пункта в системе координат используемой радионавигационной системы, например, WGS. Компъютерный режим обработки данных помимо измеренных кодовых псевдодальностей и фаз несущих в качестве исходных использует также координаты исходных (референцных) пунктов (B, L, H), высоты установки антенн над центрами пунктов, текущие координаты (эфемериды) спутников, отнесенные к референцному моменту, поправки часов спутников и элементы ионосферной задержки спутниковых радиосигналов (из навигационных сообщений), измеренные метеорологические данные в наземном пункте, особенности принятых методов (программ) спутниковых наблюдений. Компъютерная обработка материалов полевых измерений подразделяется на предварительную и окончательную.

Предварительная обработка предусматривается непосредственно в полевых условиях с целью оценки качества спутниковых наблюдений на всех проектируемых пунктах геодезической сети, что позволяет выявить недопустимые погрешности спутниковых измерений, выполнить отбраковку некачественных материалов и решить вопросы повторных измерений или передачи материалов для окончательного уравнивания геодезической сети и составления технического отчета. Основанием для данных выводов являются: принятая методика инициализации спутниковых наблюдений, внутренняя сходимость результатов дублирующих измерений, допустимые невязки в замкнутых геодезических построениях, допустимые расхождения измерений на базисных направлениях, сходимость с результатами предыдущих измерений на пунктах, используемых в качестве референцных, и ряд других критериев.

Модуль окончательного уравнивания геодезических измерений в компъютерной программе позволяет вводить исходные координаты базовых пунктов, придавать им веса, учитывать погрешности исходных данных, исключать пункты или вектора из уравнивания, выполнять уравнивание в трехмерной системе координат и другие функции.

Компъютерная распечатка материалов окончательного уравнивания геодезических построений практически для всех типовых программ, входящих в комплект различных фирм –изготовителей спутниковых приемников, включает следующую примерную информацию:

- название файла, геодезические координаты центра сети;

- параметры эллипсоида, принятого для уравнивания геодезической сети (большая полуось- а, эксцентриситет -е, сжатие -1/f);

- предварительные геодезические координаты пунктов (B, L, H) в системе используемой СРНС;

- исходные вектора с указанием названий пунктов, приращений ∆X, ∆Y, ∆Z и априорных значений СКП σВ ,  σL , σH;

- уравненные вектора с поправками υXYZ в системе координат X,Y,Z и других;

- SE – стандартную ошибку единицы веса;

- уравненные координаты пунктов B, L, H и их средняя квадратическая погрешность ;

- результаты оценки точности уравненных значений векторов с характеристиками их положения в трехмерном пространстве и относительных ошибок их уравненных значений.

В окончательном техническом отчете обязательно приводятся название программы и номер версии обработки и уравнивания спутниковых измерений.

Лекция 6. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ СПУТНИКОВЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

|  |
| --- |
|  |

В настоящее время, когда ставится задача написания учебного пособия в доступной для студентов геодезических специальностей форме, спутниковые методы создания опорных геодезических сетей и сгущения планово – высотного съемочного обоснования для геодезического обеспечения изысканий, строительства и эксплуатации различных важнейших гражданских, промышленных и специальных объектов в сочетании с современными оптико- электронными измерительными комплексами и компьютерными технологиями.

уже преобразили практически до неузнаваемости традиционные, наиболее высокоточные и трудоемкие виды геодезического производства. Отпала необходимость довольно ответственного этапа проектирования места закладки центров геодезических пунктов, строительства наружных пирамид и сложных сигналов ввиду обязательного ранее условия видимости между соседними пунктами геодезического построения методами триангуляции, трилатерации и различных видов линейно-угловых комбинаций, за исключением создания на объекте исходных геодезических пунктов с ориентирными направлениями. Отпала необходимость также при создании опорных геодезических сетей в высокоточных угловых и базисных светодальномерных измерениях, организация и процесс которых в сложных физико-географических и климатических условиях представляли в большинстве случаев довольно сложную задачу. Современные методы инженерно геодезических изысканий с использованием СРНС значительно упростили организацию, методику, объем и сроки полевых измерений, позволили проектировать использование приемников спутниковых сигналов в различных даже сложных климатических условиях и практически в любое время года и суток. Процесс основных полевых спутниковых наблюдений почти полностью автоматизирован и в стадии постобработки не требует предварительного составления большого объема сводных схем и ведомостей для уравнивания геодезических построений. Внедрение спутниковых радионавигационных систем практически во все виды инженекрно – геодезических изысканий в значительной степени повышают точность съемочных работ и координатных определений, позволяют использовать компьютерные технологии для уравнивания и оценки точности результатов измерений, представлять отчетную техническую документацию непосредственно на объекте производства полевых топографо-геодезических работ с использованием стандартного или при необходимости специального программного обеспечения.

Очевидно, что отмеченные здесь преимущества спутниковых методов геодезических измерений по сравнению с традиционными не означают, что эти методы достигли своего совершенства. Есть и здесь довольно много не решенных чисто технических задач и проблем теоретических основ принятых на данном этапе алгоритмов обработки спутниковой измерительной информации. Следует ожидать, что в последующие годы спутниковые технологии производства топографо-геодезических работ ожидают значительные преобразования. Это и внедрение новых СРНС, использование более разнообразного диапазона и количества доступного для гражданского пользователя спутниковых радиосигналов, повышение точности прогнозирования орбитального движения спутников, совершенствование теории и программного обеспечения математической обработки кодовых (импульсных), фазовых и частотных (доплеровских) методов спутникового позиционирования, совершенствование технической аппаратуры и методик полевых наблюдений с точки зрения исключения (уменьшения) шумов и помех, искажающих спутниковые радионавигационные сигналы, более детальный анализ элементов распространения радиоволн применительно к спутниковым радиочастотам в различных атмосферных слоях (тропосфере, стратосфере и ионосфере Земли) и более строгий учет или исключение атмосферной рефракции радиоволн на космических трассах, разработка модифицированных приемников спутниковых сигналов с расширенными функциональными возможностями и большей автоматизацией измерительного процесса и ряда других направлений.