

НАЗЕМНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ГНСС ДЛЯ ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ*

О.В. Евстафьев (Региональный офис Leica Geosystems)

В 1994 г. окончил факультет прикладной космонавтики МИИГАиК по специальности «космическая геодезия и навигация», в 2002 г. — факультет экономики и маркетинга ТУ (МАИ) по специальности «организация предпринимательской деятельности». С 1994 г. работал ведущим инженером, а с 1999 г. — менеджером отдела продаж в компании ПРИН, с 2001 г. — руководителем отдела геотехнологий ЗАО «Геотехсервис-2000». С 2004 г. по настоящее время — ведущий специалист по спутниковому геодезическому оборудованию в региональном офисе Leica Geosystems.

В предыдущей публикации цикла статей о создании наземной инфраструктуры точного позиционирования на основе спутниковых базовых станций было дано описание оборудования и программного обеспечения, необходимых для работы базовых станций ГНСС, приведены примеры крепления спутниковых антенн, их защиты от молний и грозовых разрядов, и перечислены сопутствующие затраты. В данной части остановимся на выборе подходящего места для базовой станции и планировании мест установки базовых станций сети.

Существует разница между выбором места установки одиночной постоянно действующей спутниковой базовой станции и нескольких базовых станций, образующих сеть. Одиночная станция обеспечивает работу пользователей спутниковой аппаратуры в окружающей ее области, формируя дифференциальные поправки для определения точного местоположения в режиме реального времени и данные для вычисления координат в процессе их постобработки. При этом область, в которой возможно получение гарантированного результата, ограничивается примерно радиусом 25–30 км при определении про-

странственного местоположения вокруг с сантиметровой точностью и около 300 км при определении местоположения с точностью не хуже 1 м. Таким образом, базовую станцию необходимо устанавливать так, чтобы ее рабочий диапазон охватывал район, где могут находиться и работать пользователи. Как уже говорилось, точность определяемых координат подвижной станции будет напрямую зависеть от ее удаленности от базовой станции. С учетом вышесказанного, наиболее оптимально располагать одиночную базовую станцию в центре района работ. При этом центр управления с программным обеспечением базовой станции может находиться и вне данного района, если соединение с ГНСС-приемником осуществляется по каналу связи с помощью протокола TCP/IP.

Сеть базовых станций может охватывать значительно большую территорию. Станции сети располагают таким образом, чтобы их рабочие зоны покрывали необходимую территорию и перекрывались между собой, позволяя пользователю одновременно работать с несколькими станциями в любой точке пространства, охватываемого сетью. Если программное обес-

печение сервера центра управления сети формирует сетевые дифференциальные поправки, то внутри сети точность определяемых координат будет постоянна. Существуют области вне сети, где определение координат также возможно, но в них точность будет ухудшаться по мере удаления от границ сети (ближайшей базовой станции). При создании локальных и региональных сетей для покрытия больших территорий и выборе расположения базовых станций и конфигурации сети важно учесть несколько факторов, на которых остановимся подробнее.

▼ Выбор места установки базовой станции ГНСС

Как сказано выше, базовая станция должна быть установлена таким образом, чтобы ее данные обеспечивали возможность точного позиционирования (в режимах RTK и постобработки) в районе, где пользователи будут выполнять измерения и координирование объектов.

Выбор места установки постоянно действующей как одиночной, так и базовой станции сети необходимо осуществлять с учетом ряда факторов:

— обеспечения стабильности положения антенны;

* Продолжение. Начало в № 1, 2-2008.

— наличия беспрепятственного обзора неба;

— отсутствия в непосредственной близости объектов, которые могут быть источниками многолучевости;

— отсутствия в близлежащей области радиопередатчиков, которые могут быть источником помех;

— обеспечения линий коммуникаций для управления приемником базовой станции и систем связи, с помощью которых пользователи будут получать данные для работы в режиме RTK и файлы для постобработки;

— наличия надежного бесперебойного электропитания оборудования;

— обеспечения защиты оборудования от воздействия внешней среды, молний и грозových разрядов;

— обеспечения сохранности оборудования и антивандальных мер.

Каким образом можно выполнить эти требования, подробно изложено в предыдущей публикации [1]. Дополнительно остановимся только на условиях расположения антенны базовой станции.

Антенна спутникового приемника на базовой станции, как правило, должна быть установлена так, чтобы имелась возможность отслеживать спутники, находящиеся под углом более 10° над горизонтом (угол отсечки). Для решения некоторых задач может даже потребоваться наблюдать спутники ГНСС на горизонте, когда высота спутника над горизонтом равна 0° . Препятствия могут привести к потере спутниковых сигналов и стать причиной многолучевости (приема отраженных сигналов). Многолучевость оказывает негативное влияние на качество данных и, следовательно, на точность. Исходя из этих соображений, в месте расположения антенны должны отсутствовать деревья, сооружения и другие

препятствия, выше угла 10° над горизонтом антенны (рис. 1). Это особенно важно для базовых станций, которые формируют высокоточную геодезическую сеть. Лучше всего, если препятствий не будет совсем. Удостовериться, что место для размещения базовой станции выбрано правильно, можно, установив приемник и антенну и выполнив сбор данных в течение нескольких дней, а затем проанализировав данные, используя специальное программное обеспечение и TEQC с сайта UNAVCO (www.unavco.org/facility/software/preprocessing/preprocessing.html).

▼ Проектирование сети базовых станций

При проектировании сети выбор мест установки базовых станций ГНСС осуществляется так же, как и для одиночной базовой станции, но дополнительно необходимо учитывать геометрию сети, создаваемой базовыми станциями. Схема и геометрия сети спутниковых базовых станций напрямую зависит от формы необходимой области охвата территории и рельефа местности. При этом, можно руководствоваться нормативным документом для создания и реконструкции городских геодезических сетей [2], где даны подробные указания по проектированию и приведены типовые схемы спутниковых геодезических сетей.

Так, пункт 4.2.1.2 гласит: «Выбор схемы проектируемой сети осуществляется, исходя из анализа собранных в процессе работ исходных материалов, условий технического проекта, а также из условий получения соответствующего класса создаваемой сети и выбора методов построения сети. Треугольники в сети должны быть по возможности равноугольными, а минимальное значение угла в сети — не менее 20° и не более 160° ». Однако при проектировании сети спутниковых базовых стан-

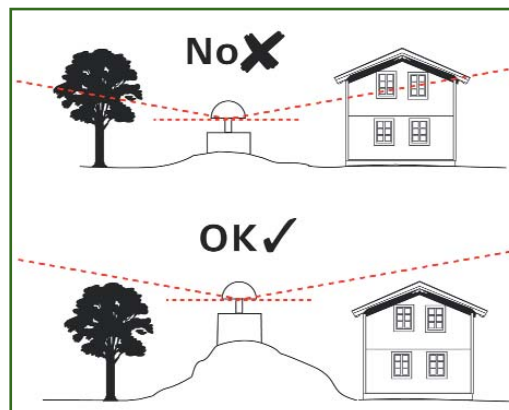


Рис. 1
Расположение антенны базовой станции

ций и выборе ее правильной геометрии необходимо учитывать и особенности алгоритмов программного обеспечения для расчета пространственной модели ошибок спутниковых измерений. Сеть постоянно действующих базовых станций ГНСС может быть более эффективной, чем традиционные сети триангуляционных и полигометрических пунктов. При установке спутниковых базовых станций имеется возможность выбирать места их расположения более свободно, так как, и в отличие от геодезических пунктов, между ними не требуется наличия прямой видимости.

Для оценки мест установки будущих базовых станций лучше воспользоваться следующим способом. После составления генеральной схемы сети постоянно действующих базовых станций необходимо провести полевое тестирование с помощью спутниковых геодезических приемников. Приемники должны быть расположены в запроектированных местах установки станций для сбора данных не менее чем на сутки (в режиме «статика»), а также на пунктах с заранее известными координатами, имитируя работу пользователей (подвижных станций). Затем с помощью специального программного обеспечения (например, Leica GNSS Spider Re-Processing option) и собранных в поле данных необ-

ходимо симулировать работу базовых станций и получить координаты подвижных станций на пунктах (с известными координатами) в режиме моделирования RTK. При этом также можно оценить целостность и качество «сырых» данных проектируемых базовых станций.

▼ Расстояния между базовыми станциями сети

Если сеть создается в качестве опорной геодезической сети для обеспечения геодезических и топографических работ на обширных площадях, особенно важно продумать в каких местах и на каком расстоянии друг от друга будут располагаться базовые станции.

Базовые станции ГНСС должны быть установлены там, где они смогут обеспечить данными наибольшее число полевых исполнителей. Как правило, это означает установку большего числа станций сети в высокоразвитых регионах, а также в районах, где ведутся основные работы и наиболее важны точность и надежность позиционирования.

Необходимо учитывать тип данных, которые будут предоставляться пользователям сети.

Это могут быть только RINEX-данные для работы по методике постобработки или данные для работы в режимах RTK или DGPS.

Если целью создания сети базовых станций является мониторинг природных объектов и искусственных сооружений (линии тектонических разломов, вулканы, дамбы, мосты и т. д.), то расположение базовых станций в значительной степени будет определяться структурой объекта мониторинга и ожидаемыми смещениями.

В странах с огромными пространствами неосвоенных земель или там, где не развиты сети сотовой связи, как правило, бессмысленно и экономически не целесообразно предусматривать работу пользователей на всей территории в режиме RTK. Для больших и не слишком развитых территорий расстояния между базовыми станциями могут достигать сотен километров. Устанавливать базовые станции будет более правильно только в крупных населенных пунктах или в зонах, где осуществляются региональные проекты. Если необходимо, базовые станции могут передавать RTK-данные и обеспечивать зону охвата в радиусе до 20–30 км.

Пользователи, работающие на большом удалении от базовых станций, там, где работа в RTK-режиме невозможна, должны установить временную (полевую) базовую станцию RTK, зарегистрировав данные за достаточный период времени и получив ее точные координаты после обработки, совместно с данными постоянно действующих базовых станций. Используя данные, собранные за несколько часов, процедура постобработки может обеспечить точность позиционирования 5 мм + 0,5 ppm или лучше, при длине базовых линий 100 км и более.

В случае, если требуется создать сеть, покрывающую обширную область поправками для постоянной и надежной ра-

боты в режиме RTK, и на это предусмотрены финансовые средства, плотность установки постоянно действующих базовых станций должна быть выше. Как уже говорилось, каждая станция может покрыть область радиусом до 30 км и желательно, чтобы зоны охвата станций перекрывались (рис. 2). Однако в RTK-сетях расстояния между базовыми станциями могут достигать более 30 км, а удаление подвижной станции от ближайшей базовой станции сети — до 50 км. Эта возможность появляется, благодаря специальным алгоритмам программного обеспечения сервера сети базовых станций, такого как, например, Leica GNSS Spider. Принимая потоки спутниковых данных со всех станций сети, программа создает модель ошибок определения координат для области сети, возникающих из-за текущих условий распространения сигналов спутников ГНСС над данной территорией. Дифференциальные поправки передаются пользователям не только с учетом ошибок спутникового позиционирования относительно отдельной (например, ближайшей) базовой станции, но и с учетом изменения ошибок между станциями сети (интерполяционной модели сети). Это позволяет на подвижной станции определять координаты в режиме RTK на большем удалении от станций сети, а расстояния между базовыми станциями сети могут быть увеличены до 80 км.

▼ Количество базовых станций сети

Для предварительного расчета необходимого количества спутниковых базовых станций сети для охвата территории определенной площади можно воспользоваться формулой:

$$N = L W / (2R - O)^2,$$

где **N** — количество станций;

L — длина территории;

W — ширина территории;

R — радиус рабочей зоны од-



Рис. 2

Расположение сети базовых станций в Ирландии (OSI)

ной станции (максимум 80–100 км);

О — область перекрытия рабочих зон между станциями.

Введя значения ширины и длины необходимой территории охвата на местности, можно вычислить площадь сети и количество необходимых станций (см. таблицу). Так, например, если взять радиус рабочей зоны каждой станции равным 50 км и область перекрытия рабочих зон станций — 5 км, то получится, что для охвата территории 40 тыс. км² необходима сеть из 4–5 базовых станций.

Приведенная формула может быть использована только для предварительного расчета необходимого количества базовых станций сети, поскольку она учитывает равномерное расположение станций по всей территории. Окончательное решение о количестве необходимых станций должно быть принято, исходя из требуемой плотности в отдельных областях и, конечно, из бюджета проекта по созданию сети базовых станций.

При создании сети, где предполагается предоставление сетевых RTK-поправок, необходимо учитывать тот факт, что алгоритм программного обеспечения сервера может формировать данные поправки только при наличии данных минимум с трех базовых станций. Однако для надежности обеспечения постоянными сетевыми поправками необходимо иметь четыре, а лучше пять, базовых станций, составляющих сеть. Ведь, если станций в сети будет только три, то в случае выхода из строя одной из них, сервер не сможет формировать сетевые поправки. В сети же, состоящей из 4–5 станций, в такой ситуации сервер автоматически выберет рабочие станции для формирования сетевого решения, а пользователи будут обеспечены сетевыми RTK-поправками и смогут работать без перерыва. Очевидно, что чем больше станций в сети, тем она надежнее.

Предварительный расчет количества базовых станций сети

L, км	W, км	Площадь, км ²	R, км	O, км	N
100	100	10 000	50	5	1–2
200	200	40 000	50	5	4–5
300	300	90 000	50	5	10
400	400	160 000	50	5	17–18
500	500	250 000	50	5	27–28
1000	1000	1 000 000	50	5	110–111

▼ Центр управления сетью

Кроме установки спутниковых базовых станций необходимо позаботиться о размещении центра управления сетью, т. е. найти помещение для установки сервера с программным обеспечением управления базовыми станциями. Центр управления может находиться на любом удалении от сети базовых станций, главное, чтобы он был оснащен коммуникациями для связи со спутниковыми базовыми станциями. Он должен включать необходимое компьютерное оборудование, систему бесперебойного электропитания и находиться под охраной. Программное обеспечение для управления сетью базовых станций должно контролировать работу базовых станций, принимать поток «сырых» спутниковых данных с них, выгружать файлы измерений через регулярные промежутки времени (подробнее см. в статье [3]). Для работы пользователей в режиме реального времени сервер также должен выдавать дифференциальные поправки, которые поступают к пользователям по специально выделенным каналам связи (радио, GSM, CDMA, Интернет). Соответственно, центр управления должен быть оснащен устройствами коммуникации для отправки поправок пользователям или посреднику — провайдеру связи, с которым имеется договоренность об оказании услуг передачи данных. Система связи провайдера должна обеспечивать уверенный прием/переда-

чу данных на территории, обслуживаемой сетью базовых станций. Следует отметить, что затраты на создание систем связи центра управления с базовыми станциями и пользователями могут составлять половину стоимости проекта создания сети базовых станций для точного позиционирования.

Некоторые вопросы функционирования сервера центра управления сетью базовых станций, а также различные типы сетевых RTK-поправок, формируемых программным обеспечением сервера, будут рассмотрены в следующей публикации.

▼ Список литературы

1. Евстафьев О.В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования // Геопрофи. — 2008. — № 2. — С. 24–28.
2. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS (ГКИНП (ОНТА)-01-271-03). Федеральная служба геодезии и картографии РФ.
3. Евстафьев О.В. Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования // Геопрофи. — 2008. — № 1. — С. 21–24.

Продолжение следует

RESUME

The requirements which should be taken into account while designing network's base stations and its control center are listed. A particular attention is paid to the place and reliability of the network's stations mounting as well as to the choice of an optimal distance between stations, a number of base stations and the network geometry as a whole.