

О.В. Евстафьев

НАЗЕМНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ГНСС ДЛЯ ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ



Спонсор
издания
Фирма Г.Ф.К.



О.В. Евстафьев

**НАЗЕМНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА ГНСС
ДЛЯ ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

**Москва
2009**

УДК 528.2:629.78
ББК 26.1

Рецензент: Владимир Васильевич Бойков, начальник Центра спутниковых технологий ФГУП «Госземкадастръемка» — ВИСХАГИ, доктор технических наук, профессор.

О.В. Евстафьев

Наземная инфраструктура ГНСС для точного позиционирования / Под ред. В.В. Грошева. — М.: ООО «Издательство «Проспект», 2009. — 48 с.

ISBN 978-5-98597-128-6

Книга подготовлена по материалам статей, опубликованных автором в журнале «Геопрофи» в 2008–2009 гг., и является первой из серии «Библиотека научно-технического журнала по геодезии, картографии и навигации «Геопрофи».

Монография посвящена одному из важнейших направлений практического применения глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS — системам точного позиционирования. Она включает описание требований к составу оборудования и программного обеспечения базовых станций ГНСС, оптимальной формы и размеров сетей из них, телекоммуникационных средств связи между центром управления сетью, базовыми станциями и подвижными спутниковыми приемниками, различных способов определения точных пространственных координат объектов в режиме реального времени и при постобработке. Особое внимание уделено оценке затрат на создание элементов инфраструктуры и систем точного позиционирования, включая возможные направления их возврата.

Книга рассчитана на специалистов, занимающихся внедрением систем точного позиционирования, а также преподавателям, аспирантам и студентам учебных заведений геодезического, землеустроительного, строительного, сельскохозяйственного и других профилей.

ISBN 978-5-98597-128-6

© О.В. Евстафьев, 2009

© ООО «Фирма Г.Ф.К.», 2009

© ООО «Информационное агентство «ГРОМ», 2009

ПРЕДИСЛОВИЕ

Развитие глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) привело к быстрому развитию новых спутниковых геодезических технологий — от абсолютных определений координат объектов с ошибками 10 и более метров до относительных определений с ошибками в несколько сантиметров. Все более совершенное спутниковое оборудование и средства связи, предлагаемые фирмами — производителями, позволили создать и новую технологию координатных определений, основанную на использовании сетей опорных (базовых) станций — технологию систем точного позиционирования (СТП).

Данные системы в режиме RTK обеспечивают точность определения координат с предельной погрешностью также в несколько сантиметров, а в режиме постобработки — на уровне ошибок, не превышающих 1 см. Технология оказалась настолько эффективной, что развитые страны создали сети опорных станций на значительных территориях, предоставляя пользователям измерительную и корректирующую информацию, обеспечивающую точное и надежное определение координат объектов.

Работа, подготовленная О.В. Евстафьевым и посвященная вопросам создания СТП на основе ГНСС ГЛОНАСС и GPS, в связи с этим, представляется своевременной и весьма необходимой, особенно, учитывая то обстоятельство, что круг специалистов в России, имеющих практический опыт создания подобных систем, весьма ограничен. Поэтому с самого начала важно правильно поставить задачу, акцентируя внимание специалистов на основных вопросах ее решения. Автору, как представляется, это удалось в полной мере.

Он достаточно подробно осветил технические вопросы создания СТП, в том числе выбор спутниковых приемников и программных средств для опорных станций, требования к конфигурации и плотности станций в сетях, местам их установки, а также выбор средств связи. Подчеркнем, что этот элемент инфраструктуры имеет важное значение для эффективной работы СТП.

Положительным является стремление автора дать общие требования к оборудованию и программному обеспечению без привязки к конкретному производителю, что особенно важно при построении региональных спутниковых сетей, где потенциальные пользователи информации применяют оборудование ГНСС различных производителей.

Другой положительной стороной данной работы является то, что значительная часть рекомендаций автора посвящена оценке затрат на создание элементов инфраструктуры и систем точного позиционирования, в том числе описанию возможных направлений их возврата.

В целом рекомендации автора ценны тем, что он выработал их, участвуя в практической реализации ряда систем точного позиционирования, в техническом сопровождении уже внедренных систем. Они будут полезны специалистам, применяющим подобные системы, преподавателям, аспирантам и студентам учебных заведений геодезического, землеустроительного, строительного, сельскохозяйственного и других профилей.

*В.В. Бойков,
доктор технических наук, профессор, лауреат Государственной премии РФ*

ОТ АВТОРА

Человек всегда хотел знать, где он находится в окружающем его мире, и разрабатывал разные методы определения своего местоположения в пространстве. Он освоил множество способов: от ориентирования на местности по окружающим его предметам до применения магнитного компаса и навигации по звездам. Современный человек использует искусственные ориентиры для определения местоположения на Земле в виде наземных маяков и созвездий навигационных искусственных спутников Земли. По мере накопления опыта и знаний в области навигации и ориентирования у него возникли задачи и потребности определять местоположение, координаты и размеры различных объектов на Земле все с более и более высокой точностью для возрастающих хозяйственных и производственных нужд.

Приборы и оборудование для определения пространственных координат с помощью сигналов искусственных спутников Земли успешно применяются уже более 30 лет. В настоящее время спутниковые приемники, работающие по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS, обладают множеством преимуществ по сравнению с их первыми образцами — они компактны, потребляют мало энергии, имеют удобный интерфейс и множество дополнительных функций. Однако, как и раньше, технология определения координат дифференциальным способом с точностью лучше метра требует наличия минимум одного опорного (базового) приемника и одного подвижного приемника, используемого непосредственно для измерения координат объекта.

На территориях, где измерения выполняют несколько организаций, и имеется большое количество пользователей спутниковой навигационной информации, возникают ситуации, когда одновременно работает несколько опорных спутниковых приемников, выполняющих одинаковые функции. Каждая организация и каждый пользователь прилагают усилия и несут затраты на обеспечение функционирования и эксплуатации собственного базового приемника. В густонаселенных областях и крупных городах геодезисты сталкиваются с проблемой, когда опорный геодезический пункт с известными координатами занят коллегами из другой организации, и они вынуждены простаивать, ожидая очереди для установки базового приемника на этот пункт. В данной ситуации более эффективно иметь одну общую постоянно действующую спутниковую базовую станцию или несколько станций, объединенных в сеть, для одновременного обслуживания всех заинтересованных пользователей. Такой коллективный подход позволит каждому потребителю нести меньшие затраты, непрерывно выполняя необходимый объем работ, а новые пользователи получат выгоду от того, что им не надо тратить средства на приобретение и эксплуатацию собственного опорного спутникового приемника. Несколько базовых станций, объединенных в сеть, позволят получить дополнительные преимущества, такие как увеличение надежности и точности спутниковых геодезических измерений, а также возможность расширения территории, на которой выполняются работы.

При создании постоянно действующих базовых станций или систем для точного позиционирования важным фактором становится унификация и надежность данных, передаваемых различным пользователям. Создание инфраструктуры точного позиционирования вырастает в крупное мероприятие, где необходимо учесть множество и других факторов — технических, организационных и финансовых.

В наши дни большинство новых достижений в различных областях появляется на стыке разных наук и технологий. Системы точного позиционирования основаны на современных методах геодезии, спутниковой навигации, коммуникационных и компьютерных технологиях, знание которых необходимо при создании таких систем.

Создание систем точного позиционирования может перерасти в отдельный бизнес, который, безусловно, будет развиваться по мере увеличения областей применения спутниковых навигационных технологий и количества пользователей, а услуги будут все более востребованы.

Данная монография посвящена вышеуказанным и многим другим аспектам создания инфраструктуры точного позиционирования ГНСС. В ней описаны общие принципы и подходы к созданию, как одиночных спутниковых базовых станций, так и сетей из них; оборудование, программное обеспечение и алгоритмы, применяемые в системах спутникового позиционирования; приведены примеры уже созданных систем. В большей части использована и объединена информация зарубежных компаний и специалистов, приведен опыт реализации проектов в Европе, Азии и Америке, а также опыт автора, полученный при реализации некоторых проектов в России. При подготовке иллюстраций использованы материалы компании Leica Geosystems.

Надеюсь, что материалы, изложенные в книге, будут полезны российским специалистам, а также организациям и предпринимателям, занимающимся созданием и развитием современных технологий в геодезии, точной навигации, топографо-геодезических съемках, земельном кадастре, обеспечении строительных работ, геомониторинге и других областях человеческой деятельности, где требуется знание о точном местоположении.

Появление этой книги стало возможным благодаря помощи редакции журнала «Гео-профи» в подготовке отдельных публикаций в журнале и книги в целом, а также финансовой поддержке ООО «Фирма Г.Ф.К.» в ее издании. Автор благодарит В.В. Бойкова за замечания и предложения, высказанные по содержанию книги, а также всех тех, кто оказал помощь в данной работе.

О.В. Евстафьев

ОТ СПОНСОРА ИЗДАНИЯ

Уважаемые партнеры, коллеги и друзья!



ООО «Фирма Г.Ф.К.» совместно с журналом «Геопрофи» предлагает Вашему вниманию небольшую книгу, посвященную одной теме — созданию сетей постоянно действующих базовых станций ГЛОНАСС/GPS. Мы решили выступить в качестве спонсора данного издания потому, что изложенные в ней рекомендации являются очень актуальными для России. С формированием указанных сетей тесно связаны вопросы развития экономики, транспорта, геодезии, картографии, кадастра, создания современной инфраструктуры и, не в последнюю очередь,

обеспечения безопасности жизнедеятельности человека.

Понимая важность этого направления, наша компания начала заниматься его развитием 7 лет тому назад, принимая активное участие в реализации проектов по созданию сетей, включающих:

- 23 станции Центра спутниковых технологий ФГУП «Госземкадастръемка» — ВИСХАГИ (Москва и Московская область);
- 15 станций администрации Тверской области;
- 4 станции ОАО «РЖД» (район Клин — Москва);
- 5 станций 1-го этапа БТИ Московской области.

За это время нашими специалистами накоплен значительный практический опыт и знания, которыми мы готовы поделиться с Вами. С радостью хочу отметить, что автор данной книги, О.В. Евстафьев, с апреля 2009 г. является одним из ведущих специалистов нашей компании.

Процесс создания сети постоянно действующих базовых станций ГЛОНАСС/GPS носит комплексный характер и требует знаний в различных областях науки и технологий, в том числе современных методов геодезических измерений, спутниковых, навигационных, коммуникационных и компьютерных технологий.

ООО «Фирма Г.Ф.К.» обладает необходимыми ресурсами для успешной реализации поставленных задач. В нашей компании сформирован коллектив высококвалифицированных специалистов, которые готовы оказать профессиональную помощь в решении любых проектов. Имеется собственная научно-экспериментальная база для проведения испытаний и отладки технологий. Сервисный центр компании полностью оснащен высококлассным диагностическим оборудованием и программным обеспечением для качественного выполнения технического обслуживания и ремонта в соответствии с международными стандартами. Центр имеет официальную авторизацию фирм-производителей, на базе которых персонал центра регулярно проходит обучение с целью повышения квалификации. Кроме того, наша компания развивает тесное сотрудничество с государст-

венными, акционерными и частными предприятиями в области создания сетей постоянно действующих базовых станций глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS.

ООО «Фирма Г.Ф.К.» с 1992 г. работает на российском рынке геодезического оборудования и технологий. Главными принципами нашей деятельности являются — высокий профессионализм и компетентность в работе, индивидуальный подход к потребностям каждого заказчика, создание и развитие партнерских и доверительных отношений, обеспечение первоклассного обслуживания на всех этапах совместной работы. При этом неизблемый приоритет для нас имеет высокое качество и надежность поставляемых нами приборов и технологий.

Выражаю благодарность редакции научно-технического журнала по геодезии, картографии и навигации «Геопрофи» за проявленную инициативу по совместному выпуску данной книги. Мы планируем продолжить это сотрудничество и надеемся, что Вас заинтересует наше следующее совместное издание. Также будем рады развитию деловых контактов со старыми партнерами и появлению новых с целью обсуждения вопросов совместной работы по реализации проектов и обмена опытом в части функционирования уже действующих сетей базовых станций.

*Бернд Хиллер,
генеральный директор ООО «Фирма Г.Ф.К.»*

ВВЕДЕНИЕ

Основой наземной инфраструктуры систем точного определения пространственных координат (позиционирования) с помощью глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) являются постоянно действующие базовые станции ГНСС, часто обозначаемые аббревиатурой CORS (Continuous Operation Reference Station). Постоянно действующие базовые станции GPS, ГЛОНАСС или GPS/ГЛОНАСС устанавливаются в виде одиночных станций (рис. 1) или нескольких базовых станций ГНСС, образующих сеть.

На ранней стадии развития глобальных навигационных спутниковых систем первые постоянно действующие базовые станции были установлены вдоль береговой линии для трансляции поправок дифференциальной коррекции (DGPS), которые позволяли повысить точность морской навигации с помощью спутниковых приемников (до 1 м). В настоящее время базовые станции располагают в различных местах по всему миру, и их количество постоянно растет. Сеть базовых станций обеспечивает единую пространственно-временную геодезическую основу точных и высокоточных измерений ГНСС, необходимых для широкого спектра прикладных задач. Например, при наблюдениях за деформациями земной коры, создании опор-

ных геодезических сетей для обеспечения топографических, кадастровых и строительных работ, сбора информации для ГИС-проектов, управления строительной техникой, точного земледелия, а также для мониторинга за состоянием природных и искусственных объектов и сооружений.

При выполнении геодезических измерений сеть постоянно действующих базовых станций ГНСС является более эффективной, чем традиционные сети триангуляционных и полигонометрических пунктов. Базовые станции могут быть установлены в любом месте, где они необходимы, так как в отличие от геодезических пунктов между ними не требуется наличия прямой видимости. Геометрия сети не является столь критичной, как в случае традиционных геодезических сетей, а точность выше и более стабильна. Такая сеть может быть практически любого размера. Одна или две одиночные базовые станции — возможно, это все, что требуется для обеспечения работ на территории области, города, муниципального образования, строительной площадки, открытых горных выработках и т. д. Сеть, состоящая из большого числа постоянно действующих базовых станций, будет обеспечивать выполнение работ на большей территории, например, на территории целого государства. В этом случае исполнитель, являющийся пользователем сети, может определить координаты своего местоположения с точностью от одного метра до нескольких сантиметров. Для этого ему необходимо установить подвижный спутниковый приемник в районе работ, который примет дифференциальные поправки с базовой станции (или с сервера сети) и на месте вычислит координаты текущего местоположения, сразу предоставив полученную информацию исполнителю на дисплее. Такой способ спутниковых наблюдений называется измерением в режиме реального времени (Real-Time mode). При этом поправки можно получать по радиоканалу, каналам мобильной связи и через Интернет. Кроме того, по-



Рис. 1
Постоянно действующая базовая станция ГНСС

движный приемник позволяет записывать спутниковые измерения в его внутреннюю память, для их последующей обработки совместно с данными базовых станций и вычисления точных координат в камеральных условиях. Данный режим имеет название режим измерений с постобработкой (Post-processing mode).

В регионах, где вероятны землетрясения, вдоль основных линий разломов, в зонах вулканической активности устанавливают сети базовых станций для наблюдений за деформациями земной коры. В этом случае управление сетью базовых станций выполняется сервером с единого вычислительного центра. С помощью специализированного программного обеспечения сервер осуществляет обработку данных, получаемых с базовых станций сети, и вычисляет пространственные координаты каждой антенны базовой станции, по которым определяют их пространственные смещения на конкретный момент времени. Подобные сети, но меньшего размера, используются для наблюдений за смещениями и деформациями природных объектов и сооружений, например: ледников, оползней, плотин, мостов, высотных зданий, башен, морских нефтяных платформ и др.

Данные постоянно действующих базовых станций и сетей из них обеспечивают на больших территориях точное управление механизмами и машинами, оснащенными спутниковыми системами автоматизированного управления. За счет этого на протяженных строительных площадках и открытых горных выработках земляные и планировочные работы могут выполняться быстрее, с более высокой точностью, с использованием меньшего количества специалистов и техники. А использование технологии точного земледелия — при посеве зерновых культур, внесении удобрений в почву, сборе урожая — позволяет достичь не только эффективное использование сельскохозяйственной техники, но и повышение урожайности сельскохозяйственных культур.

Широкое использование геоинформационных и спутниковых технологий при управлении территориями и эксплуатации инженерных коммуникаций (водопровод, канализация, теплосети, линии электропередач, линии связи, газовые сети и т. п.) требует постоянного контроля и обновления пространственного положения действующих и строящихся объектов. Наличие базовых станций и сетей из них на территории муниципальных образований и городов обеспечивает получение точных данных о местоположении объектов с помощью подвижных спутниковых приемников ГНСС, оснащенных мобильными средствами для сбора данных для ГИС.

Приведенные примеры показывают, что одиночные базовые станции и сети постоянно действующих базовых станций ГНСС могут использоваться в различных областях. Постоянно действующие базовые станции особенно будут эффективны, когда съемка или мониторинг объектов должны выполняться постоянно на одной и той же территории в течение длительного периода времени. Станции или сети из них могут быть установлены и сконфигурированы как для решения конкретной задачи и для одной группы пользователей, так и для решения большого числа задач и для множества разнообразных групп пользователей, организаций и ведомств. Одна базовая станция может идеально работать на небольшой территории. Многоцелевая сеть из нескольких десятков постоянно действующих базовых станций ГНСС часто бывает более предпочтительна для крупного региона.

Отдельно стоящие станции и сети из них в настоящее время создаются и обслуживаются государственными, акционерными и частными организациями. Финансирование работ по созданию и эксплуатации постоянно действующих станций и сетей из них осуществляется как из государственного бюджета, так и за счет частного капитала. Но, несмотря на то, что количество одиночных станций и сетей ГНСС постоянно растет, во многих организациях и, особенно, среди потенциаль-

ных пользователей спутниковых данных, возникают сомнения в целесообразности практического использования услуг, предоставляемых постоянно действующими станциями ГНСС.

В приведенных ниже материалах делается попытка дать практические рекомендации по установке одиночной базовой станции или сетей базовых станций, а также эффективному управлению ими, чтобы обеспечить необходимый сервис для точных спутниковых измерений. Поскольку бюджет в большинстве случаев ограничен, а базовые станции и сети из них могут значительно различаться по стоимости, то в каждом конкретном случае акцент должен смещаться в сторону выбора наиболее рентабельного решения.

Любая постоянно действующая базовая станция включает в себя приемник ГНСС, спутниковую антенну, источник бесперебойного питания и средства связи, которые устанавливаются стационарно на специально подготовленное место. Управление работой приемника ГНСС обычно осуществляется компьютером, который, как правило, расположен на удалении от приемника. Приемник ГНСС базовой станции работает постоянно. «Сырые» данные кодовых или фазовых спутниковых измерений передаются в память компьютера и записываются в файлы определенной длины. В зависимости от типа прикладной задачи длина файла может быть задана любым требуемым значением, от нескольких минут до часов или даже суток. Специализированное программное обеспечение компьютера передает файлы по каналам связи на FTP-сервер для обеспечения пользователям простого к ним доступа через Интернет. Кроме того, программное обеспечение базовой станции может обрабатывать данные приемника ГНСС и выдавать дифференциальные поправки в различных форматах (например, RTCM). Передача поправок пользователям может осуществляться с передатчика базовой станции, расположенного в удобном месте. Пользователи подвижных

(мобильных) приемников ГНСС при выполнении полевых измерений могут получать дифференциальные поправки по радиоканалам, высокоскоростным беспроводным сетям (GSM, GPRS, CDMA и др.) или через Интернет. В зависимости от режима измерений и требуемой точности определяемых пространственных координат расстояние пользователя от базовой станции может быть до 300 км. Однако при удалении от станции точность ухудшается пропорционально расстоянию. Для измерений в режиме реального времени с сантиметровой точностью (RTK — Real Time Kinematic) удаление от базовой станции должно быть не более 25–30 км. На таком расстоянии работает большинство пользователей, и для них использование одной базовой станции является достаточным. В других случаях, при работе на больших расстояниях, может потребоваться целая сеть постоянно действующих базовых станций. Сеть может включать 5, 10, 20 или даже больше постоянно действующих базовых станций (рис. 2), чтобы обеспечить необходимую точность получения пространственных координат на больших площадях и территориях.

Сеть базовых станций состоит из нескольких постоянно действующих приемников ГНСС, подключенных к центру управления сетью по каналам связи. В качестве каналов связи, для подключения к серверу центра управления одного или нескольких приемников базовых станций, могут использоваться компьютерные сети, телефонные проводные линии, сотовая связь или глобальная сеть Интернет. Сервер с программным обеспечением для работы с базовыми станциями может управлять одной базовой станцией или сетью базовых станций, включающей несколько сотен приемников ГНСС. Для управления одиночной базовой станцией компьютер часто подключается к приемнику напрямую. В сети с большим количеством базовых станций сервер, как правило, размещается в едином вычислительном центре и коммутируется с приемниками посредством выше-

указанных каналов связи. На сервере установлено специализированное программное обеспечение для управления всеми приемниками базовых станций, при этом для каждого приемника отдельный компьютер не требуется. Программное обеспечение позволяет загружать файлы спутниковых данных приемников в память сервера через регулярные промежутки времени. Если необходимо, «сырые» данные также могут передаваться от приемника на сервер постоянно, например, секунда за секундой. Программное обеспечение сервера конвертирует данные в различные форматы, например RINEX, и сохраняет их в виде файлов. Файлы передаются на FTP-сервер для доступа к ним через Интернет. Файлы могут архивироваться для хранения. Однажды установленные и сконфигурированные базовые станции и сети из них будут функционировать в полностью автоматическом режиме. Однако инспектор системы может входить в нее, проводить осмотр приемников и сети, а также выполнять настройки и вносить изменения. Система

также может выдавать данные (дифференциальные поправки), необходимые для выполнения измерений в режиме реального времени.

Базовые станции и сети базовых станций могут значительно отличаться по площади охвата и сложности решения. Главным отличием сети базовых станций от одиночной базовой станции является наличие каналов связи для передачи данных с удаленных приемников ГНСС базовых станций на сервер единого вычислительного центра. Кроме того, необходимо наличие инфраструктуры, обеспечивающей поддержание работы базовых станций, включая электропитание, постоянный контроль состояния приемников ГНСС и безопасность.

Организации, планирующие установку постоянно действующих базовых станций или создание сети базовых станций, должны тщательно обдумать, для каких целей будут использоваться данные базовых станций, и какие услуги предполагается предоставлять потенциальным пользователям. От этого бу-

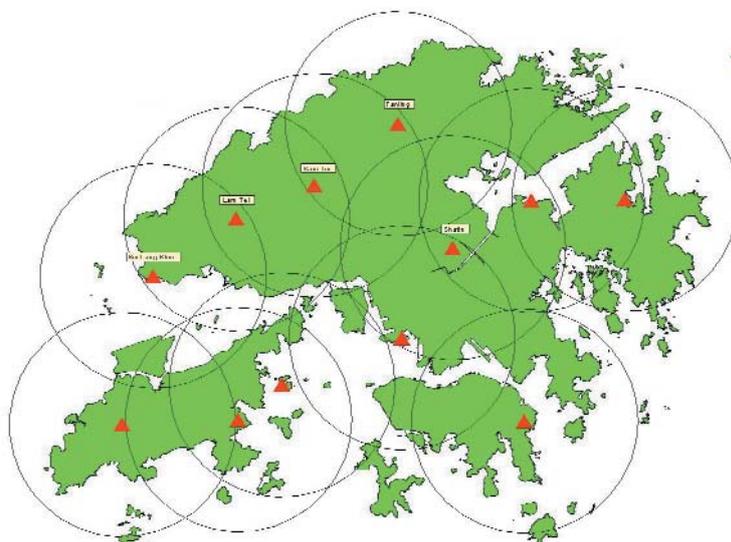


Рис. 2
Сеть постоянно действующих базовых станций на территории Гонконга

дет зависеть уровень сложности решения и стоимость проекта.

Таким образом, если принято решение об установке постоянно действующей базовой станции для обеспечения собственных производственных задач или создания сервиса для точного определения пространственных координат на основе сети базовых станций, то для начала необходимо найти ответы на ряд вопросов, которые будут изложены далее. Это во многом определит успех реализации проекта, направление основных усилий и порядок мероприятий, а также уровень возможных финансовых и временных затрат.

ГЛАВА 1. ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩЕЙ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ ГНСС

Резюмируя, отметим следующие главные особенности одиночной постоянно действующей базовой станции ГНСС:

1. Оборудование станции должно включать приемник ГНСС, спутниковую антенну, источник бесперебойного питания, средства связи, которые устанавливаются стационарно, на специально подготовленное место.

2. Приемник ГНСС работает автономно, без участия оператора на станции. Управление станцией осуществляется автоматически с персонального компьютера (ПК), с помощью специализированного программного обеспечения.

3. На станции постоянно формируются данные для постобработки результатов измерений, выполненных пользователями подвижных спутниковых приемников, а также спутниковые дифференциальные поправки для получения ими точных пространственных координат в режиме реального времени.

4. Данные, собираемые на станции, архивируются на жестком диске компьютера для последующей обработки и передачи по каналам связи на FTP-сервер для удаленного доступа пользователей подвижных спутниковых приемников.

5. Станция обеспечивает пользователей подвижных спутниковых приемников, находящихся в радиусе не более 25–30 км от базовой станции, данными, необходимыми для определения пространственных координат в режиме реального времени, с сантиметровой точностью.

Организациям, предоставляющим данные для точного позиционирования пользователям, находящимся в непосредственной близости, достаточно установить одну или несколько постоянно действующих базовых станций. Большинству пользователей вполне достаточно сервиса, предоставляемого одной базовой станцией.

Приемники ГНСС

Фазовые многоканальные приемники ГНСС являются наиболее подходящими для использования в качестве базовых станций, если они позволяют принимать сигналы глобальных навигационных спутниковых систем: GPS (NAVSATAR) на частотах L1, L2, L2C и L5; ГЛОНАСС в частотных диапазонах L1 и L2; а также разворачиваемой системы Galileo. Современные приемники такого класса имеют не менее 72 каналов для приема сигналов ГНСС. Приемники не только выполняют измерения и осуществляют запись фазы несущих частот сигналов, но и могут генерировать дифференциальные поправки для точного определения пространственных координат в режиме реального времени (RTK, DGPS) и формировать выходные данные в различных форматах (RINEX, NMEA), необходимые для различных приложений. Однако следует иметь в виду, что производители спутникового геодезического оборудования предлагают как мобильные приемники ГНСС, так и специально разработанные спутниковые приемники для работы на стационарных базовых станциях. Мобильные приемники не всегда подходят для создания CORS-станции. Для постоянно действующей базовой станции не столь критичными являются такие характеристики приемника ГНСС, как температурный



*Рис. 3
Приемник для постоянно действующей базовой станции*

режим его работы и защита от пыли и влаги. Но для того, чтобы обеспечивать услугами точного определения пространственных координат различных пользователей в одно и то же время, лучше, если приемник может регистрировать данные на большой скорости, постоянно передавать непрерывный поток «сырых» данных, а также RTK и DGPS-поправки в наиболее широко применяемых форматах (RTCM, Leica, CMR, CMR+). Приемники, используемые в качестве базовых станций, должны иметь соответствующие порты для:

- соединения с управляющим компьютером, на котором работает программное обеспечение базовой станции (COM или Ethernet);
- подключения коммуникационного устройства для передачи RTK и DGPS поправок;
- подключения основного и резервного источников питания;
- подключения внешнего стандарта частоты (если необходимо);
- вывода меток точного времени (PPS);
- подключения периферийных устройств, таких как метеорологические датчики и датчики наклона.

Приемник для постоянно действующей базовой станции (рис. 3) должен обладать возможностью передачи непрерывного потока «сырых» спутниковых данных на управляющий компьютер, а также иметь большой объем внутренней памяти для накопления

данных в случае прекращения связи с компьютером и возможность автоматической передачи этих данных при восстановлении соединения.

Одночастотные приемники имеют ограничения по функциональности и не подходят для использования в качестве многоцелевых базовых станций, которые требуются в настоящее время. Однако они могут быть использованы для станций, которые транслируют данные дифференциальной коррекции (DGPS) для мобильных приемников, собирающих данные для ГИС, и навигационных приемников. Одночастотные приемники можно использовать в пределах небольших, короткобазисных сетей для целей мониторинга объектов, но предпочтительно и в этом случае применять двухчастотные приемники.

Антенны ГНСС

Если постоянно действующая базовая станция является частью государственной геодезической сети первого порядка, необходимо использовать антенны особого типа (Choke-ring) Dorne & Margolin, снабженные специальным экраном с кольцами для защиты от переотраженных спутниковых сигналов (рис. 4). Любые базовые станции, которые формируют всемирную международную сеть IGS, также, как правило, требуют использова-



*Рис. 4
Спутниковая антенна типа Choke-ring*



*Рис. 5
Крепление антенны спутникового приемника
на железобетонном пилоне*

ния таких антенн. Они отличаются высокой стабильностью фазового центра, снижением многолучевости до незначительного уровня и позволяют гарантировать высокое качество получаемых данных. Для одиночных базовых станций и для базовых станций в сетях, предназначенных, в основном, для целей топографической съемки и обеспечения строительства, и передающих данные подвижным приемникам, работающим в режиме реального времени, вполне подходит стандартная геодезическая антенна, используемая на подвижном приемнике, если она обеспечивает хорошее качество приема спутниковых сигналов. Стандартная геодезическая антенна достаточна для большинства приложений и может быть значительно дешевле Choke-ring-антенны. Антенны типа Choke-ring обычно сверху закрываются куполом из радиопрозрачного материала (пластика) для защиты от осадков и различного мусора.

Крепление антенны

Антенна постоянно действующей базовой станции должна быть неподвижна, поскольку пространственное положение ее фазового центра будет исходным при определении и задании координат базовой станции. Следовательно, антенна должна быть жестко закреплена на местности на твердом основании. Использование стандартного геодезического штатива при этом не желательно. Обычно антенну устанавливают на отдельно стоящем железобетонном пилоне (рис. 5) или на стальной трубе, диаметром не менее 10 см, которую жестко крепят на несущей стене здания (рис. 6). В верхней части пилона или трубы должна быть металлическая пластина с выступающим винтом для принудительного крепления антенны.

Антенные кабели

Если установка антенны ГНСС базовой станции предусмотрена на большом расстоянии от приемника, например, на крыше здания, то потребуются длинный кабель. Чем длиннее кабель, тем больше должна быть его



*Рис. 6
Крепление антенны спутникового приемника
на стене здания*

толщина для минимизации потери сигнала, и тем тяжелее и более громоздким он оказывается. Поэтому, чем короче кабель, тем лучше. В случае, если длина кабеля более 70 м, в зависимости от его марки, может потребоваться усилитель сигнала, который устанавливается на стыке кабелей, образующих общую линию. Однако, по возможности, необходимо избегать использования сверхдлинных кабелей и стараться установить приемник как можно ближе к антенне.

Источники электропитания

Оборудование базовой станции требует надежного и бесперебойного электропитания. При подключении к электросети переменного тока (220 В), как правило, используется АС-DC-адаптер. В случае прекращения подачи электроэнергии переменного тока или ее аварийного отключения, должен быть предусмотрен резервный источник электропитания. Поскольку внезапное прекращение подачи электропитания на оборудование базовой станции может вывести ее из строя, и исполнители в поле будут вынуждены прекратить работы. Пользователи, которые платят за услугу и данные, предоставляемые с постоянно действующей базовой станции, вряд ли будут довольны перебоями в работе базовой станции. Поэтому на постоянно действующей базовой станции обязательно должен быть предусмотрен резервный источник электропитания. Для одиночной базовой станции резервный источник электропитания может быть общим для компьютера и приемника. При обеспечении работы базовой станции в течение ограниченного периода времени (при аварийном отключении электросети) используется источник бесперебойного питания (UPS). Эти источники могут быть различного типа и различной емкости. Чем больше емкость, тем дольше источник может поддерживать оборудование в рабочем состоянии. Следует иметь в виду, что используемые на базовых станциях современные приемники ГНСС имеют функцию авто-

матического перезапуска, как только электропитание восстанавливается. Для большей надежности можно предусмотреть установку резервного источника питания отдельно для приемника и компьютера. Если питание отключается только у компьютера, приемник будет продолжать работать в нормальном режиме, т. е. регистрировать данные и, если он соответствующим образом настроен, передавать данные RTK и DGPS.

Иногда возникает необходимость установить базовую станцию на месте, где отсутствуют электрические сети. В этом случае требуется постоянный автономный источник электропитания, который выбирают исходя из конкретных местных условий. Например, в районах с жарким климатом могут быть использованы солнечные батареи.

Защита от молний и гроз

Если базовые станции устанавливают в регионе, где часто бывают грозы, рекомендуется защищать оборудование станции от попадания молний. Защита может быть обеспечена при помощи громоотвода или молниеотвода. На высоких зданиях, как правило, устанавливают молниеотводы. Они обычно состоят из одного или более металлических стержней, соединенных с помощью толстой медной ленты, нижний конец которой вкопан в землю. Специальный молниеотвод должен быть установлен рядом со спутниковой антенной. Для того, чтобы не мешать прохождению спутниковых сигналов, стержни молниеотвода не должны быть слишком высокими. Одно из возможных решений может включать четыре небольших стержня, установленных с четырех сторон от антенны так, чтобы они не поднимались выше 10° над горизонтом. Если антенна устанавливается на здании, ее молниеотвод должен быть связан с молниеотводной системой здания и заземлен (эти работы должны выполнять специалисты).

Под воздействием электромагнитных полей, возникающих во время грозы, в антен-

ном кабеле может появиться электрический ток и повредить приемник базовой станции. Для защиты приемника используется грозовой разрядник, который должен быть размещен в антенном кабеле, между антенной и приемником, и заземлен. Если антенна находится на здании, грозовой разрядник должен быть соединен с молниеотводной системой здания и заземлен. Грозовой разрядник защищает приемник и все оборудование, которое к нему подключено (например, компьютер), от всплесков напряжения, кроме спутниковой антенны.

Метеорологические датчики

Задержка спутниковых сигналов в атмосфере дает важную информацию для метеорологов. Некоторые организации за рубежом, являющиеся операторами базовых станций, поставляют данные метеорологическим службам. Эти данные используются при подготовке прогнозов погоды и изучении климатических явлений. Для получения таких данных обычно требуется соединить метеорологический датчик с приемником ГНСС на базовой станции. Метеорологический датчик определяет температуру, влажность и давление. Эти данные записываются совместно со спутниковыми измерениями в приемник ГНСС. Программное обеспечение на сервере загружает их и трансформирует метеорологические данные в формат RINEX.

Датчики наклона

Периодически требуется проверять координаты базовой станции (пространственное положение антенны). Обычно это делается по результатам постобработки линий от базовой станции к опорным пунктам, к которым осуществлена геодезическая привязка антенны базовой станции. Хорошо, если антенна установлена на крыше здания, на невысоком пилоне с фундаментом, который не испытывает деформации. Однако, если антенна установлена на высоком пилоне или стальной трубе, ее положение в пространстве мо-



Рис. 7
Электронный двухосевой датчик наклона NIVEL

жет со временем изменяться, из-за ежедневных деформаций вследствие температурных колебаний, давления ветра и др. Чем выше основание, на котором устанавливается антенна, тем более вероятным является появление у нее наклона. Для определения наклона основания антенны на нем закрепляют датчик наклона, который соединяют с приемником ГНСС. Электронный двухосевой датчик (рис. 7) измеряет наклон по двум плоскостям и передает полученные значения в цифровом виде в память приемника ГНСС, где они записываются совместно с «сырыми» спутниковыми данными и могут быть внесены в RINEX-файл. Эти данные затем анализируются для определения наклона основания, на котором установлена антенна.

ГЛАВА 2. ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩЕЙ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ ГНСС

Для управления постоянно действующей базовой станцией с помощью компьютера необходимо специализированное программное обеспечение (ПО). Некоторые модели базовых приемников ГНСС функционируют без управления с ПК. Однако компьютер необходим для удаленного контроля состояния

и настроек приемника, а также для хранения собранных на базовой станции данных на его жестком диске, который имеет намного большую емкость, чем внутренняя память приемника. Некоторые модели приемников ГНСС для удаленного контроля имеют веб-интерфейс, который позволяет управлять приемником ГНСС с помощью стандартного Интернет-браузера (рис. 8). Если приемник подключен к сети Интернет, то контролировать его работу можно из любой точки Земного шара, где у оператора есть доступ к глобальной сети Интернет.

Программное обеспечение базовой станции на управляющем ПК осуществляет связь с приемником ГНСС, обеспечивая автоматическую передачу файлов из внутренней памяти приемника на жесткий диск ПК, через заданные интервалы времени или непрерывно. В случае передачи непрерывного потока данных, ПО базовой станции проверяет их на целостность, при необходимости фильтрует и сохраняет в виде файлов на жесткий диск ПК. «Сырые» данные могут конвертироваться в формат RINEX (или Comcraft RINEX), архивироваться и отправляться по электронной почте или выкладываться на FTP-сервер, где обеспечен доступ пользователям для постобработки. Для работы пользователей в режиме реального времени ПО базовой станции формирует дифференциальные RTK и/или DGPS-поправки в определенном формате и передает эти данные на подключенное к ПК (или к приемнику ГНСС) устройство связи. Программное обеспечение также контролирует состояние и функционирование приемника, качество данных, систему связи, генерирует сообщения и отчеты, когда это необходимо.

Если ПО базовой станции имеет возможность одновременного подключения нескольких базовых станций, то оно рекомендуется тем пользователям, которые решили установить одиночную базовую станцию, но в дальнейшем планируют увеличить количество базовых станций, чтобы объединить их в

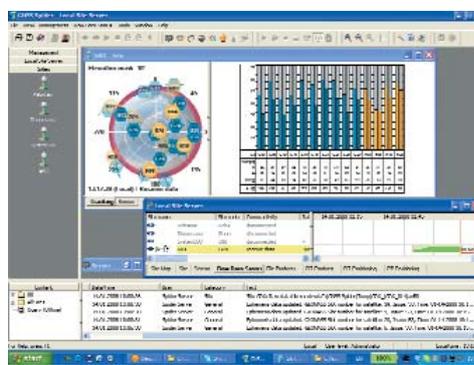


Рис. 8
Программное обеспечение управления спутниковыми базовыми станциями

сеть. Наличие такого программного обеспечения позволит в будущем наращивать количество постоянно действующих базовых станций для создания сети опорных станций под общим управлением. В этом ПО может быть предусмотрено обеспечение сетевыми дифференциальными поправками пользователей, использующих спутниковую аппаратуру в режиме RTK.

В состав программного обеспечения базовой станции также должно входить ПО для постобработки измерений, выполненных пользователями подвижных приемников ГНСС. При этом, оно должно включать возможности преобразования координат, уравнивания результатов измерений и составления отчетов.

ГЛАВА 3. ЗАТРАТЫ НА ОБОРУДОВАНИЕ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩЕЙ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ ГНСС

Состав комплекта и стоимость постоянно действующей базовой станции во многом определяется целями ее создания, кругом производственных задач пользователей и уровнем сервиса точного позиционирования, который желает предоставлять потребителям владелец базовой станции. Состав оборудо-

вания постоянно действующей базовой станции может сильно варьировать. Простейшая спутниковая базовая станция включает приемник ГНСС с обычной геодезической антенной и персональным компьютером (с управлением приемником через web-интерфейс) для приема и архивирования данных для постобработки. Стоимость такого комплекта оборудования базовой станции будет не выше стоимости стандартного комплекта подвижного геодезического приемника ГНСС.

Более сложный вариант включает приемник ГНСС, антенну стандарта IGS, сервер, источник бесперебойного питания, систему связи для передачи RTK-поправок пользователям и набор программного обеспечения с различными функциями, вплоть до поминутного учета работы пользователей. Ориентировочная стоимость оборудования такой базовой станции составит 1 млн руб., но она может отличаться как в большую, так и в меньшую сторону в зависимости от марки приемника, ценовой политики производителя и поставщика.

В структуре цены базовой станции программное обеспечение может занимать малую часть, или, наоборот, больше половины стоимости, в зависимости от его возможностей. Наилучшим вариантом программного обеспечения базовой станции является такое ПО, которое имеет модульную структуру и возможность наращивания функций по мере возникновения потребностей и финансовых средств на модернизацию.

При учете затрат на создание постоянно действующей базовой станции, кроме стоимости оборудования, необходимо учесть: затраты на выбор места установки базовой станции, монтаж оборудования и его тестирование, геодезическую привязку антенны станции в требуемой системе координат, обучение оператора работе с оборудованием и ПО базовой станции, а возможно и обучение пользователей подвижных станций работе с данными, передаваемыми базовой станцией для их последующей обработки, и с

измерениями ГНСС в режиме реального времени.

В данном разделе не рассмотрены затраты на эксплуатационное содержание постоянно действующей базовой станции, которые могут включать аренду места установки базовой станции, оплату электроэнергии, заработную плату операторов базовой станции и др.

ГЛАВА 4. ВЫБОР МЕСТА УСТАНОВКИ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩЕЙ БАЗОВОЙ СТАНЦИИ ГНСС

В данном разделе остановимся на выборе подходящего места для постоянно действующей базовой станции и планировании мест установки базовых станций сети.

Существует разница между выбором места установки одиночной постоянно действующей базовой станции и нескольких базовых станций, образующих сеть. Одиночная станция обеспечивает работу пользователей спутниковой аппаратуры на окружающей ее территории, 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 определение пространственного местоположения с гарантированной сантиметровой точностью, ограничивается примерно радиусом 25–30 км 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 удаления от базовой станции. С учетом вышесказанного, наиболее оптимально располагать одиночную базовую станцию в геометрическом центре района работ. При этом центр управления с программным обеспечением базовой станции может находиться и вне данного района, ес-

ли соединение с приемником ГНСС 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 обеспечение сервера центра управления сети формирует сетевые дифференциальные поправки, то внутри сети точность определяемых координат будет постоянной. Существуют области вне сети, где определение координат также возможно, но в них точность будет ухудшаться по мере удаления от границ сети (от ближайшей базовой станции сети). 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.

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;
- 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 грозовых разрядов;

- обеспечения сохранности оборудования.

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

Антенна спутникового приемника на базовой станции, как правило, должна быть установлена так, чтобы имела 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, следо-

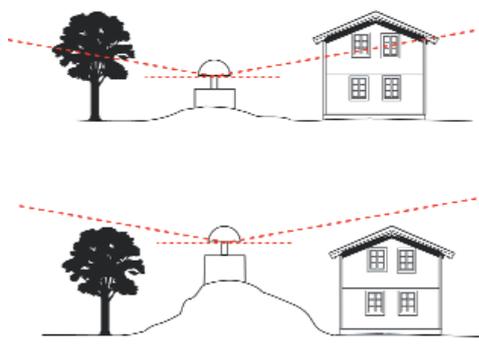


Рис. 9
Расположение антенны базовой станции:
неправильное (вверху); правильное (внизу)

вательно, на точность. Исходя из этих соображений, в месте расположения антенны должны отсутствовать деревья, сооружения и другие препятствия, выше угла 10° над горизонтом антенны (рис. 9). 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).

ГЛАВА 5. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТИ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИХ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ ГНСС

При проектировании сети выбор мест установки постоянно действующей 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 станций 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 полигонометрических пунктов. При установке спутниковых базовых станций имеется возможность выбирать места их расположения более свободно, так как, и в отличие от пунктов триангуляции, 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 необходимо 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 продуд-

мать 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 важна 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 величинами смещений.

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 данны-

ми постоянно действующих базовых станций. Используя данные, собранные за несколько часов, процедура постобработки может обеспечить точность позиционирования $5 \text{ мм} + 0,5 \text{ ppm}$ или лучше, при длине базовых линий 100 км и более.

В случае, если требуется создать сеть, покрывающую обширную область поправками для постоянной и надежной работы 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. 10). 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 определен-

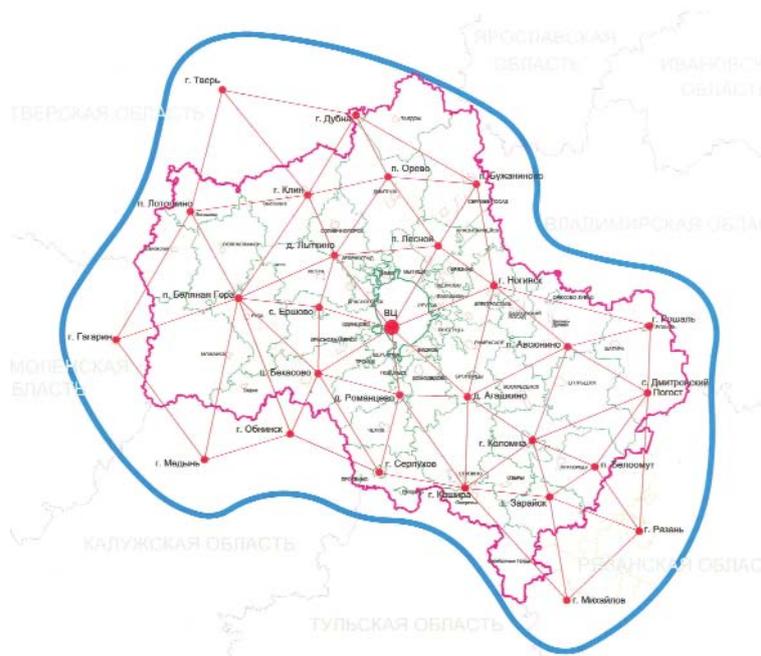


Рис. 10
 Схема расположения базовых станций Московской опорной межевой сети

ной площади можно воспользоваться формулой:

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

где N — количество станций;

L — длина территории;

W — ширина территории;

R — радиус рабочей зоны одной станции (максимум 80–100 км);

O — 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.

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

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.

ГЛАВА 6. ЦЕНТР УПРАВЛЕНИЯ СЕТЬЮ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩИХ БАЗОВЫХ СТАНЦИЙ ГНСС

Общее назначение

Кроме установки спутниковых базовых станций необходимо позаботиться о размещении центра управления сетью, который будет осуществлять контроль работы постоянно действующих базовых станций, и обеспечивать пользователей данными для точного определения пространственных координат подвижных приемников. Необходимо 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 с базовыми станциями сети. 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. 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/передачу 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.

Функции центра управления

В данном разделе рассмотрим некоторые вопросы функционирования сервера центра управления сетью базовых станций, а также различные типы сетевых RTK-поправок, формируемых программным обеспечением сервера.

Сведем в единый список функции, которые осуществляет центр управления сетью постоянно действующих базовых станций, чтобы конкретизировать задачи специального программного обеспечения, которое в нем используется.

1. Осуществление связи со спутниковыми приемниками постоянно действующих базовых станций, настройка их внутренних параметров.

2. Прием данных с базовых станций, проверка качества, автоматическая запись файлов данных на жесткий диск компьютера (сервера центра управления) заданной длины и с заданным интервалом записи данных.

3. Преобразование данных в формат RINEX или Natanaka, размещение файлов на FTP-сервере, web-сайте для получения их пользователями по сети Интернет.

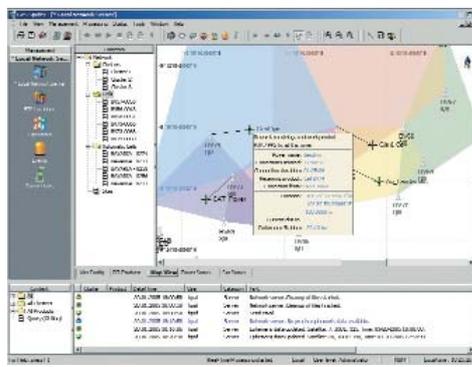
4. Формирование дифференциальных поправок для пользователей, определяющих свое местоположение в режиме реального времени в области покрытия сети базовых станций.

5. Передача дифференциальных поправок через различные каналы связи (радио, сотовая связь, Интернет).

6. Генерация сообщений и ведение журнала событий в процессе работы центра управления, оповещение оператора центра управления об изменениях состояния спутников ГНСС, базовых станций, линий коммуникаций и работающих с системой пользователей.

Кроме того, при необходимости, с помощью программного обеспечения центра управления можно организовать контроль за работой пользователей в режиме реального времени с их идентификацией (рис. 11) и учетом сеансов RTK-измерений, автоматическую обработку измерений пользователей совместно с данными базовых станций, вычисление координат объектов пользователя с преобразованием в различные координатные системы и создание отчетов. При наличии специальных функций можно осуществлять контроль целостности сети путем периодического расчета взаимного положения антенн приемников базовых станций и их смещений в пространстве и времени (мониторинг положения станций).

Как видно, роль центра управления сетью и его программного обеспечения в системах



*Рис. 11
Пример контроля работы пользователей в сети базовых станций с помощью специального программного обеспечения*

точного позиционирования является наиболее важной, а базовые станции — это только «поставщики» текущей спутниковой информации или, как говорят, потоков «сырых» данных ГНСС. Эти потоки данных содержат навигационную информацию со спутников ГНСС, измерения фаз кодов и несущих частот радиосигналов спутников, находящихся в данный момент времени в области приема антенн спутниковых приемников базовых станций. Пользователь системы нуждается в получении информации о его местоположении или пространственных координатах интересующего его объекта, и в большинстве случаев непосредственно «сырые» данные ГНСС его не интересуют. Центр управления собирает потоки «сырых» данных ГНСС со станций и на их основе создает информационный массив данных, необходимых пользователю для определения точного местоположения, тем самым, оказывая ему услуги (так называемый сервис точного позиционирования) в различных режимах.

ГЛАВА 7. СЕТЕВЫЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОПРАВКИ

Среди услуг точного позиционирования особый интерес имеют предоставляемые сетевые дифференциальные поправки для ис-

мерений в режиме RTK. Поправки от одиночной спутниковой базовой станции распространяются и могут быть приняты подвижным спутниковым приемником на удалении до 300 км и даже больше, но при этом точность определяемых координат падает с удалением от базовой станции [3]. Нарастающая с расстоянием погрешность определения местоположения в дифференциальном режиме возникает вследствие увеличения различия условий атмосферы (главным образом, ионосферы) над базовой станцией и удаляющимся от нее спутниковым приемником, и погрешностей ее моделирования в момент работы пользователя. Сетевые поправки позволяют получать точные координаты на обширных площадях, избегая при этом нарастания погрешности определения местоположения и моделирования ионосферы и тропосферы.

Сетевые поправки создаются специальным алгоритмом программного обеспечения центра управления сетью с учетом спутниковых данных всех или нескольких базовых станций в момент работы подвижного спутникового приемника. Зная точные координаты базовых станций сети и используя непрерывно поступающие спутниковые данные с этих станций, программа центра управления с помощью алгоритма разрешения неоднозначности циклов биения фаз сигналов спутников находит мгновенные невязки координат для каждой из станций. На основе этих данных с помощью фильтра Калмана строится модель погрешностей определения местоположения в сети, которая учитывает мгновенное состояние атмосферы, погрешности часов и орбит спутников ГНСС. Эта модель необходима для формирования дифференциальных поправок, общих для всех станций сети. Сетевые дифференциальные поправки передаются пользователям в различных видах, которые применяются для вычисления точных координат его местоположения.

Виды сетевых поправок и их особенности

В настоящее время существуют различные способы создания сетевых RTK-поправок, предоставляемых разнообразными программными средствами различных производителей. По способу формирования различают два типа сетевых поправок: индивидуальные и неиндивидуальные [4]. Индивидуальные сетевые поправки позволяют получать точные координаты пользователя с учетом данных о его предварительном местоположении, переданных в центр управления. Обычно это абсолютные координаты, которые приемник ГНСС пользователя определяет в навигационном режиме.

Одним из первых методов представления сетевых спутниковых поправок является FKP (Flächen-Korrektur Parameter) или метод площадных поправок, разработанный компанией Geo++ (Германия) в середине 1990-х гг. (рис. 12). Данный метод подразумевает расчет дифференциальных поправок на площади, охваченной несколькими базовыми станциями без учета предварительного положения подвижного спутникового приемника. Сервер сети базовых станций рассчитывает и предоставляет пользователю данные от од-



Рис. 12
Метод площадных поправок (FKP)

ной из базовых станций сети вместе с коэффициентами (площадными градиентами в плоскостях север-юг и восток-запад) зависимости погрешностей от расстояния относительно станций. Коэффициенты вычисляются на сервере центра управления, основываясь на предположении, что зависимость от расстояния погрешности определения местоположения внутри сети базовых станций изменяются линейно. Однако с помощью простой линейной интерполяции не всегда можно учесть истинные погрешности в сети. Данные поправки могут применяться только в ограниченной области вокруг базовой станции и не всегда обеспечивают высокое качество координат положения подвижного спутникового приемника. Однако метод ФКР широко применяется, поскольку, как было сказано, не нуждается в предварительных данных о положении подвижного спутникового приемника. Данные передаются в сообщении 59 формата RTCM дополнительно к стандартным RTK-сообщениям RTCM 18, 19 или 20, 21 и могут быть предоставлены пользователям любым способом передачи данных, включая радиоканал. Достоинство поправок ФКР, передаваемых по радиоканалу, заключается в том, что их может принимать любое количество подвижных спутниковых приемников при отсутствии платы за трафик.

В конце 1990-х гг. компания Terrasat (Германия) разработала метод виртуальной базовой станции (Virtual Reference Station Method — рис. 13), который также известен как метод VRS, запатентованный фирмой Trimble (США), и Virtual RS компании Leica Geosystems (Швейцария). Для его работы необходимо, чтобы с подвижного спутникового приемника в центр управления предварительно были сообщены координаты его текущего местоположения (GGA сообщение протокола NMEA, в котором содержатся навигационные координаты). Получив эти координаты, программное обеспечение центра управления сети создает для пользователя дифференциальные поправки относительно



Рис. 13
Метод виртуальной базовой станции

виртуальной точки в пространстве, так называемой виртуальной базовой станции, близкой к точке расположения подвижного спутникового приемника в данный момент времени, и отправляет их пользователю. Поправки могут быть посланы в сообщениях 20, 21 формата RTCM либо в собственных форматах производителя спутникового оборудования. Таким образом, каждый подвижный спутниковый приемник получает созданные специально для него индивидуальные поправки, используя которые, вычисляются точные координаты его местоположения также, как и при определении координат по данным одиночной базовой станции. При этом симулированная базовая станция находится рядом с подвижным спутниковым приемником пользователя, поскольку она создана специально для него. Метод виртуальной базовой станции имеет как достоинства, так и недостатки. Достоинство метода в том, что он, естественно, позволяет свести к минимуму погрешности определения местоположения в режиме RTK, зависящие от расстояния до базовой станции. Это также дает возможность пользователю работать с более дешевыми одночастотными спутниковыми приемниками, так как наличие данных от близко расположенной виртуальной базовой стан-

ции позволяет не беспокоиться о потере точного решения из-за удаления от станции.

Однако существуют и недостатки метода виртуальной базовой станции, например, когда подвижный спутниковый приемник удаляется от созданной для него виртуальной базовой станции, точность определяемых координат падает. В этом случае возникает необходимость заново направлять свои текущие координаты в центр управления для создания новой виртуальной базовой станции. Перевычисление точного местоположения (переинициализация) относительно новой виртуальной базовой станции может сопровождаться скачкообразным изменением точности получаемых координат, что неприемлемо при геодезических измерениях. А при быстром перемещении подвижного спутникового приемника необходимость часто выполнять переинициализацию приводит к потере времени и снижению эффективности спутниковых измерений в режиме RTK.

Другой недостаток метода виртуальной базовой станции заключается в том, что в его алгоритме для создания RTK-поправок относительно виртуальной базовой станции обычно берутся данные только трех постоянно действующих базовых станций, ближайших к подвижному спутниковому приемнику. При этом учет погрешностей атмосферы (главным образом, ионосферы) выполняется локально, и возможность применения модели атмосферных условий, преобладающих над всей территорией сети, ограничена.

Существует разновидность метода виртуальной базовой станции — метод псевдо-базовой станции PRS (Pseudo-reference Station Method), в котором виртуальная базовая станция создается на заданном расстоянии (например, 5 км) от текущего положения подвижного спутникового приемника.

Поправки, созданные с помощью методов виртуальной базовой станции и псевдо-базовой станции, относятся к индивидуальным сетевым RTK-поправкам.

Для передачи предварительной информации в центр управления и получения в ответ индивидуально сгенерированных поправок необходима система прямой и обратной связи между пользователем и центром управления. В данном случае наиболее подходит сетевая связь, поскольку метод виртуальной базовой станции не работает, если сетевые поправки передаются пользователю по радиоканалу в режиме «вещания».

В 2001 г. компании Leica Geosystems и Geo++ [5] предложили новую концепцию создания RTK-поправок, называемую MAC (Master Auxiliary Concept). Согласно этой концепции сервер центра управления посылает подвижному спутниковому приемнику потоки данных, включающие «сырые» спутниковые наблюдения и координаты базовой станции сети, называемой мастер-станцией (master station), и разности значений исправленных после разрешения неоднозначности «сырых» наблюдений и координат других базовых станций сети (или нескольких станций ячейки сети), относительно данных мастер-станции. Другие станции называют вспомогательными (auxiliary stations). Значения поправок вычисляются на подвижном спутниковом приемнике, для чего он должен иметь соответствующее про-

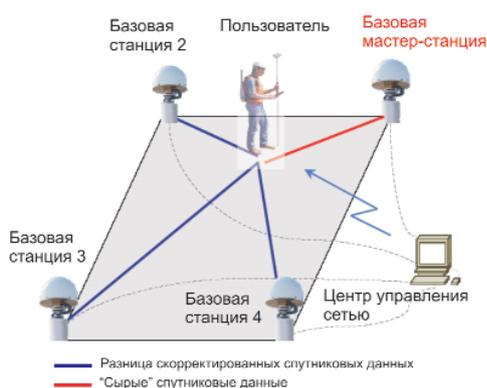


Рис. 14
Метод MAC

граммное обеспечение. Используя это ПО, в подвижном приемнике восстанавливаются значения исправленных после разрешения неоднозначности «сырых» спутниковых наблюдений для всех базовых станций сети и определяются точные координаты его местоположения наилучшим образом. Метод создания поправок вышеописанным способом имеет название MAX (Master Auxiliary Corrections — рис. 14). Данные посылаются на подвижный спутниковый приемник в новом формате RTCM 3.0 или 3.1. Метод MAX компании Leica Geosystems является единственным официальным стандартом формирования сетевых спутниковых поправок, признанным специальной комиссией RTCM 104. Он учитывает возможность использования сигналов всех глобальных навигационных спутниковых систем, включая GPS и ГЛОНАСС. Компания Trimble также разработала метод формирования сетевых поправок RTCM3Net, который соответствует концепции MAC.

В то же время, для поддержки приемников старого образца, не имеющих возможности приема поправок типа MAX в новом формате RTCM 3.x., компания Leica Geosystems использует собственный метод i-MAX (Individualized MAX — рис. 15), формирующий индивидуальные поправки. Метод i-MAX

очень близок к методу VRS, но отличается от метода виртуальной базовой станции тем, что поправки для пользователя создаются относительно реальных, физически существующих базовых станций сети. При этом спутниковые поправки формируются на основе данных базовых станций, расположенных в ячейке сети, фиксированной или создаваемой автоматически программой центра управления после получения координат местоположения подвижного спутникового приемника. Подвижный спутниковый приемник получает индивидуальные поправки, с учетом оптимально подобранных станций сети, исходя из их удаленности, качества и объема спутниковой информации в текущий момент. Количество базовых станций в ячейке не ограничено и может быть любым. Поправки i-MAX могут быть переданы в форматах RTCM 2.x, и для их распространения необходима система прямой и обратной связи, такая как сотовая связь стандарта GSM или CDMA.

Преимущества и недостатки сетевых RTK-поправок

Описанные методы создания сетевых дифференциальных поправок для определения местоположения в режиме реального времени имеют различия, преимущества и недостатки. Но все они разработаны для одной цели: обеспечить пользователя спутниковых приемников корректирующими данными так, чтобы погрешности определяемых координат не зависели от удаления от станций сети и были постоянны в любой точке пространства внутри сети. Подвижный спутниковый приемник может работать на удалении до 50 км от ближайшей станции, а сети — покрывать значительные площади, при этом расстояние между базовыми станциями может достигать 80 км. При таких расстояниях между подвижным спутниковым приемником и базовыми станциями сети может возникнуть ситуация, когда их приемники будут принимать сигналы отличающихся по



Рис. 15
Метод i-MAX

составу созвездий спутников ГНСС. В основе измерений в режиме RTK лежит тот факт, что подвижный спутниковый приемник и базовая станция должны одновременно принимать сигналы одного и того же созвездия спутников или, по крайней мере, четырех одинаковых спутников ГНСС. Именно данные спутников, совместно отслеживаемых в единый момент времени, служат для формирования RTK-поправок, в том числе и сетевых. По этой причине в сетях, состоящих из большого числа удаленных друг от друга базовых станций, создание сетевых поправок может быть затруднено. Кроме того, применение сетевых поправок не является оптимальным при расположении подвижного спутникового приемника непосредственно рядом с базовой станцией сети, особенно, когда сервер предоставляет только поправки типа VRS. Подвижный спутниковый приемник и близко расположенная базовая станция могут иметь максимальное число одинаковых отслеживаемых спутников, но сетевые поправки будут формироваться только из числа совместно отслеживаемых спутников всеми станциями сети. В этом случае данные ряда спутников не будут использоваться. Сетевые алгоритмы могут применяться внутри сети, но создаваемые ими модели погрешностей позиционирования будут ошибочными за пределами области покрытия сети, где лучше применять стандартные несетевые поправки от ближайшей базовой станции.

Формирование поправок путем комбинирования спутниковых данных

В настоящее время разработан новый метод для наиболее эффективного определения пространственных координат в дифференциальном режиме, который можно назвать комбинированным. Его анонсировала компания Leica Geosystems в апреле 2008 г., и он носит название SmartRTK (рис. 16). Суть метода заключается в том, что сервер сети постоянно действующих базовых станций

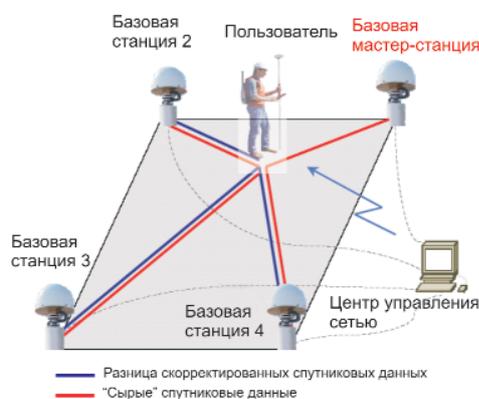


Рис. 16
Комбинированный метод SmartRTK

посылает всю имеющуюся информацию, включая «сырые» спутниковые наблюдения и координаты всех станций сети или ячейки сети. Подвижный спутниковый приемник, получив данные сервера, вычисляет сетевые дифференциальные поправки и поправки относительно одной из выбранных базовых станций, обычно ближайшей, а затем определяет свои координаты путем комбинации полученных решений с максимально эффективным использованием всех спутниковых данных для достижения наилучшего по точности результата позиционирования. Подвижный спутниковый приемник может вычислять как сетевые поправки, так и простые поправки относительно мастер-станции, моделируя зависимость от расстояния погрешности самостоятельно.

Комбинированный метод формирования сетевых RTK-поправок Leica SmartRTK также соответствует концепции MAC. Для распространения спутниковых данных потребителям используется новая версия 3.1 формата RTCM. Данная версия позволяет передавать параметры перехода в локальную систему координат в сообщении 1024. Это дает возможность пользователю получать координаты в местной системе координат без предварительного определения и загрузки в прием-

ник параметров преобразования в местные системы координат из системы WGS-84.

Технология определения точного местоположения с применением комбинированного метода формирования сетевых RTK-поправок в настоящее время является наиболее прогрессивной для точного определения пространственных координат в сетях постоянно действующих базовых станций. Но ее особенность заключается в том, что процесс создания и принятия дифференциальных поправок теперь закреплен за внутренним программным обеспечением аппаратуры пользователя. При наличии в подвижном спутниковом приемнике соответствующих функциональных возможностей необходимо только, чтобы программное обеспечение центра управления сетью обеспечивало его полным набором данных с базовых станций.

Таким образом, были рассмотрены различные виды дифференциальных поправок, необходимых пользователям для получения точных координат с помощью спутниковой аппаратуры в режиме реального времени в сетях постоянно действующих базовых станций. Программное обеспечение центра управления сетью базовых станций является одним из важных компонентов наземной инфраструктуры ГНСС для точного позиционирования. В зависимости от степени качества и сложности его реализации конкретным производителем, данное программное обеспечение может предоставлять поправки, сформированные различными способами. В настоящее время наиболее распространенным программным обеспечением для сетей спутниковых базовых станций являются Leica GNSS Spider (Leica Geosystems), GNSMART (Geo++), GPSNet (Trimble) и TopNET+ (Topcon).

Целью данной главы не является сравнение этих программных средств. Программное обеспечение центра управления сетью базовых станций может поддерживать новые методы создания спутниковых RTK-поправок типа MAX либо разработанные ранее поправ-

ки VRS и FKP. Важно, чтобы при создании сети постоянно действующих базовых станций ГНСС и выборе специализированных программных средств центра управления сетью, кроме требований потребителей, учитывались технические аспекты реализации сервиса точного позиционирования в режиме RTK, такие как существующие каналы связи и функциональные возможности приемников потенциальных пользователей сети в конкретном регионе.

ГЛАВА 8. КАНАЛЫ СВЯЗИ

Спутниковые данные постоянно действующих базовых станций, дифференциальные поправки различного типа, предназначенные пользователям сети, и другая информация, передаваемая в системах точного позиционирования, требует наличия различных каналов связи с соответствующей пропускной способностью. Каналы коммуникации являются важной и практически основополагающей частью любой системы точного спутникового позиционирования.

В данной главе будут рассмотрены различные каналы связи, предназначенные для передачи и обмена данными между базовыми станциями сети и центром управления сетью, а также для передачи поправок пользователям подвижных приемников ГНСС для точного определения пространственных координат.

Каналы связи между базовыми станциями и центром управления

Как уже было описано, постоянно действующая базовая станция состоит из приемника ГНСС, спутниковой антенны, источника бесперебойного питания, а также средств для связи с управляющим компьютером (сервером) и пользователями. Программное обеспечение базовой станции управляет спутниковым приемником, направляет данные для их последующей обработки, формирует RTK и DGPS-поправки, которые передаются пользователям подвижных приемни-

ков. Сеть базовых станций, являющаяся основной системой точного позиционирования, включает следующие каналы связи:

— между спутниковыми приемниками базовых станций и компьютером (сервером) центра управления;

— между сервером центра управления и подвижными приемниками пользователей для работы в поле в режиме реального времени;

— между сервером центра управления и персональными компьютерами пользователей для приема и передачи данных, которые необходимы для постобработки.

Каждый из указанных каналов связи может быть создан на основе различных типов соединений (средств коммуникаций):

1. Напрямую, с помощью кабеля, посредством последовательного интерфейса RS232C.

2. По локальной компьютерной сети с использованием протокола TCP/IP.

3. По сети Интернет с использованием протокола TCP/IP.

4. С помощью различных типов модемов — радио, GSM, CDMA и т. п.

Каналы связи между спутниковыми приемниками базовых станций и сервером центра управления могут быть коммутируемыми, подключение по которым выполняется по требованию, или некоммутируемыми, когда обеспечивается постоянное подключение. Коммутируемый канал может использоваться для управления приемниками ГНСС и загрузки файлов собранных данных. Он обычно дешевле каналов, открытых постоянно. Но в ряде случаев без некоммутируемых каналов связи не обойтись, например, если нужно непрерывно транслировать «сырые» спутниковые данные от базовых станций на сервер.

Если в месте установки базовой станции есть обычные наземные телефонные линии связи и телефонный модем, то они могут быть использованы для подключения приемников ГНСС к серверу. Программное обеспечение на сервере будет автоматически подключать приемники, и выгружать зарегистри-

рованные файлы через заданные промежутки времени. Для малых сетей одного телефонного модема на сервере будет достаточно. Если в месте установки базовой станции отсутствуют обычные телефонные линии, можно использовать каналы мобильной связи с модемами GSM, CDMA, TDMA, GPRS и т. д. Модемы, как и приемники ГНСС, должны быть подключены к сети электропитания и постоянно включены.

Для постоянного подключения к приемнику одиночной базовой станции наиболее простым и надежным способом является непосредственное соединение с помощью кабеля с использованием последовательного интерфейса RS232C. Скорость обмена данными по интерфейсу RS232C может достигать 115 Кбит/с, что вполне достаточно для передачи управляющих команд в приемник базовой станции и передачи потока данных ГНСС из приемника на сервер сети. Однако кабель для передачи данных по интерфейсу RS232C может быть длиной не более 15 м. Стандартный кабель имеет девятиконтактный разъем, типа DB9P, для подсоединения к персональному компьютеру. Наличие данного разъема в современных компьютерах уже является большой редкостью. Соединение по интерфейсу RS232C может быть удобно для одиночной базовой станции, но не позволяет передавать данные напрямую с приемников сети базовых станций на удаленный сервер. Можно воспользоваться устройствами преобразования интерфейса RS232C в протокол TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol). Но, как уже отмечалось, современные приемники ГНСС, используемые в качестве базовых станций, имеют порты Ethernet (разъем RJ45) для соединения с управляющим компьютером по протоколу TCP/IP. Поэтому соединение по интерфейсу RS232C можно не применять или использовать как резервное.

В настоящее время отмечается растущий интерес к методам, основанным на Интернет-протоколах (IP-based), для связи приемни-

ков и сервера, а также для передачи RTK и DGPS-данных пользователям. Используя протокол передачи данных TCP/IP, все устройства и компьютеры системы точного позиционирования могут быть связаны между собой, где бы они ни находились. Как правило, приемники ГНСС, серверы и дополнительные устройства связи центра управления объединяются в компьютерную сеть (LAN, WAN, WLAN) или могут обмениваться данными по каналам Интернет. Основная привлекательность от использования Интернет-коммуникаций между сервером и приемниками заключается в снижении текущих расходов. Если «сырые» данные постоянно передаются с приемников на сервер, как описано выше, текущие расходы при применении сети Интернет будут значительно ниже, чем при использовании телефонных линий.

Для доступа к приемнику ГНСС по сети Интернет необходимо, чтобы он имел фиксированный IP-адрес. Его можно задать во время установки базовой станции. Если к приемнику подключен модем сотовой связи (например, GSM/GPRS), то при соответствующих настройках, после включения и инициализации модема, приемник может получить временный динамический IP-адрес, благодаря DNS-сервису (Domain Name System — система доменных имен), предоставляемому провайдером мобильной связи. Доступ к данным приемника можно осуществлять с любого персонального компьютера, подключенного к Интернет, однако при этом соединение необходимо защитить системой аутентификации пользователя путем указания имени учетной записи и пароля.

Следует отметить, что каналы связи должны обеспечивать постоянную и бесперебойную передачу данных. Оптимальным решением станет применение выделенных линий, поскольку они еще и обеспечивают высокий уровень надежности. Скорости передачи данных в стандартной локальной сети в 100 Мбит/с будет вполне достаточно для связи сервера с приемниками базовых станций.

Лучше, чтобы скорость обмена данными в сети была не меньше 10 Мбит/с, а задержка спутниковых данных приемников базовых станций — не более 2 с.

Прямое кабельное соединение с приемником является достаточно надежным, поскольку зависит только от состояния кабеля. Проблемы могут возникнуть лишь от электромагнитных помех во время грозы и разрядов молний, средства защиты от которых приведены в главе 1.

На сервере сети базовых станций должен быть модем и один IP-порт для каждой базовой станции, с которой поступают данные (например, для передачи данных с пяти станций необходимо пять IP-портов). Для того, чтобы сервер постоянно получал «сырые» данные, причем одновременно от нескольких базовых станций, применяется специальное сетевое устройство — маршрутизатор (рис. 17). Если в помещении обустраивается центр управления сетью базовых станций, и там уже имеется телефонная линия, то наилучшим решением будет использование широкополосного модема ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) с большой пропускной способностью. Программное обеспечение на сервере при подключении к Интернет работает точно так же, как и при подключении к телефонным линиям связи.

Каналы для связи с пользователями подвижных спутниковых приемников ГНСС

Поправки RTK и DGPS могут транслироваться пользователям напрямую от приемников базовой станции или с сервера вычислительного центра. Поэтому пользователи должны иметь надежные и удобные каналы связи как для работы в режиме RTK, так и в режиме постобработки.

Одним из способов передачи RTK и DGPS-данных непосредственно от приемника базовой станции является использование радиомодемов. Если с этим приемником соединить два радиомодема, то они смогут передавать



*Рис. 17
Серверная стойка со спутниковым приемником и маршрутизатором удаленного доступа*

данные на двух различных частотах на подвижные приемники ГНСС. Подвижные приемники тоже должны быть оснащены радиомодемами. Преимущество этого способа передачи данных заключается в том, что данные могут поступать на любое количество подвижных приемников, при отсутствии платы за трафик.

Другим решением может стать использование коммутируемого канала связи GSM. Для этого необходимо подключить GSM-модем к приемнику ГНСС на базовой станции, а подвижный приемник пользователя оснастить аналогичным модемом для получения требуемых RTK и DGPS-данных. Применение сотовой связи дает возможность принимать RTK и DGPS-данные на гораздо большем расстоянии, чем при использовании радиоканалов. Однако за счет этого увеличиваются текущие расходы пользователей. Кроме того, только один мобильный приемник в конкретный момент времени может быть связан с базовой станцией по одному телефонному каналу.

Поэтому для одновременного подключения нескольких подвижных приемников (5, 10 или даже больше) к приемнику ГНСС базовой станции, они должны быть оснащены либо набором одинаковых модемов, либо маршрутизатором. Чем мощнее маршрутизатор, тем больше подвижных приемников могут работать одновременно, и тем выше стоимость этого оборудования.

Поправки RTK предпочтительней получать из единого центра сети, а не от конкретной базовой станции. Программа на сервере может вычислять RTK и DGPS-поправки для каждой базовой станции или сетевые поправки. Для передачи данных могут использоваться радио и сотовые телефонные каналы связи или Интернет.

Если используются радиоканалы, то RTK и DGPS-поправки различных базовых станций должны передаваться на разных частотах для того, чтобы предотвратить помехи. Поскольку радиус действия передающего радиомодема обычно ограничен, может понадобиться радиопередающая станция и рет-

рансляторы для обеспечения полного покрытия области действия сети.

При использовании каналов мобильной связи для каждой базовой станции выделяется уникальный телефонный номер. Для того, чтобы несколько пользователей подвижных приемников получили доступ к RTK и DGPS-поправкам с одной базовой станции одновременно, потребуется маршрутизатор удаленного доступа, например, Cisco ASA5510. Можно иметь один телефонный номер для всех базовых станций сети, если подвижные приемники, оснащенные модемами мобильной связи, могут посылать собственные координаты на сервер. В этом случае подвижный приемник ГНСС «дозванивается» до центра управления и передает собственные координаты на сервер в формате NMEA. Программа на сервере определяет ближайшую к подвижному приемнику базовую станцию. Маршрутизатор передает на подвижный приемник дифференциальные поправки для этой станции или необходимые сетевые поправки.

Для защиты сервера и организации доступа к данным в центре управления может быть установлено дополнительное оборудование. Доступ к данным центрального сервера, где установлено программное обеспечение управления базовыми станциями, осуществляется через брандмауэр и прокси-сервер. Мультиплексное программное обеспечение на прокси-сервере позволяет нескольким пользователям одновременно получать данные с сервера через один и тот же IP-адрес (рис. 18).

Если программное обеспечение сервера предоставляет сетевые поправки, то в зависимости от типа поправки необходимо применять подходящие средства связи. Так, для передачи пользователям сетевых поправок видов FKP и MAX подойдут все способы передачи данных, включая радиоканалы. А для предоставления поправок видов VRS и i-MAX можно использовать только каналы модемной и мобильной связи.

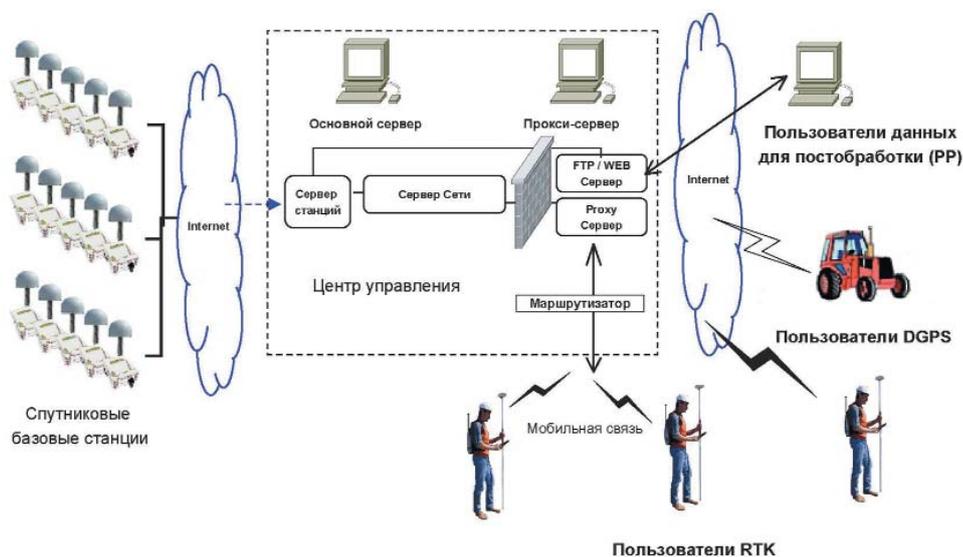


Рис. 18
Сервер и система коммуникации в сети спутниковых базовых станций

Преимущества и недостатки радио и мобильной связи

Преимущество использования радиомодемов для передачи RTK и DGPS-поправок пользователям заключается в том, что любое количество подвижных приемников может принимать эти поправки при отсутствии платы за трафик. Недостатком же является меньший радиус действия радиомодема, чем у мобильного телефона. Чем больше выходная мощность радиопередатчика, тем больше территория, на которой подвижные приемники пользователей могут принимать данные от спутниковых базовых станций. Однако выходная мощность используемых на территории РФ радиопередатчиков ограничена.

Чем выше установлена радиоантенна на передающей станции, тем больше территория, на которой подвижные приемники пользователей могут принимать данные от базовых станций.

Использование высококачественных антенн на передающей станции и на подвижных приемниках также увеличивает радиус действия. Передача на ультракоротких волнах чувствительна к внешним препятствиям. Препятствия, особенно на дальних расстояниях от передатчика, могут привести к потере сигнала подвижным приемником, а помехи на смежных частотах могут ухудшать прием сигналов. Но главная трудность применения радиомодемов на территории РФ связана со сложностью и длительностью процедуры получения соответствующих разрешительных документов.

Преимущество каналов мобильной связи заключается в отсутствии ограничений использования такого способа связи. Соединение, в принципе, надежно и потери сигнала из-за препятствий не наблюдаются. Недостатком является то, что за пользование каналами мобильной связи нужно платить. Кроме того, в ряде регионов РФ мобильная связь пока недоступна.

Использование сети Интернет для передачи и приема RTK и DGPS-поправок

Спутниковые дифференциальные поправки могут передаваться по Интернет. Для доступа в Интернет и получения необходимых данных подвижные приемники ГНСС должны быть оснащены модемами GSM/GPRS или CDMA.

Программное обеспечение сервера центра управления базовыми станциями формирует необходимые данные, в том числе поправки от каждой базовой станции, сетевые поправки или «сырые» спутниковые данные. Сформированные данные могут выдаваться на отдельные TCP-порты сервера для предоставления их пользователям через Интернет по выделенному IP-адресу сервера.

В настоящее время начинает широко использоваться способ передачи данных с помощью Интернет-протокола NTRIP (Network Transport of RTCM on Internet Protocol). NTRIP — это протокол, разработанный Федеральным агентством по картографии и геодезии Германии и предназначенный специально для передачи данных ГНСС через Интернет. Протокол NTRIP, который стал стандартом RTCM, может использоваться для распространения данных в любом формате, например, в форматах стандарта RTCM V2.1/2.2/2.3/3.0/3.1 или собственных форматах Leica, CMR и CMR+. С протоколом NTRIP все данные проходят через единственный IP-порт на сервере. Подвижные приемники могут получать данные, только если они авторизованы, т. е. им разрешен доступ. Поэтому оператор сети имеет полный контроль над доступом к данным. Это облегчает расчеты и выставление счетов за полученные данные, если это необходимо. Подвижный приемник обращается к IP-порту на сервер (или прокси-сервер) и может запросить данные от так называемой точки подключения (mount point) или список точек подключения. Например, точки подключения могут являться

источниками RTK и DGPS-поправок от различных базовых станций, источником сетевых данных в формате RTCM V3.x и сетевых поправок, источником скорректированных RTK-данных и т. д. Если запрашиваемая точка подключения доступна, данные из этого источника передаются на подвижный приемник, а если нет — подвижный приемник может выбрать другую точку подключения к данным (источник данных) из списка. В России сервис на основе NTRIP-протокола предоставляется несколькими сетями постоянно действующих базовых станций точного позиционирования, например, сетью базовых станций в Тверской области.

Выбор средств связи

Коммуникационные и информационные технологии развиваются достаточно быстро. Наличие различных технологий и возможность их использования значительно отличаются в разных странах. При выборе наиболее подходящего метода коммуникации между сервером и приемниками должно быть проанализировано и учтено множество факторов, в том числе:

- цели использования спутниковых базовых станций или сети из них;
- доступность средств связи;
- стоимость коммуникационного оборудования и его установки;
- текущие расходы;
- стоимость сервиса и поддержки.

При принятии решения о наиболее подходящем способе передачи спутниковых данных на подвижные приемники необходимо принимать в расчет следующее:

- количество подвижных приемников, которые будут обслуживаться данной станцией или сетью;
- расстояние от базовой станции, на котором должны работать подвижные приемники;
- тип коммуникационного оборудования, необходимого для работы подвижных приемников;

— стоимость коммуникационного оборудования и текущие расходы.

Из сказанного выше очевидно, что стандартного решения не существует. То, что достаточно для создания постоянно действующих одиночных базовых станций и сетей из них в одной стране или регионе, может быть совершенно неподходящим решением для другой. Окончательное решение о выборе наиболее оптимального метода следует принимать после подробных консультаций со специалистами компаний — поставщиков коммуникационных и информационных услуг.

ГЛАВА 9. ВОЗВРАТ ИНВЕСТИЦИЙ НА СОЗДАНИЕ СИСТЕМ ТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Очевидно, что постоянно действующие базовые станции ГНСС и сети базовых станций могут быть установлены и настроены для решения различных прикладных задач с разным уровнем сложности. Конкретные решения при создании инфраструктуры точного позиционирования напрямую зависят от размеров территорий, покрываемых сетью базовых станций, вида предоставляемых услуг и имеющегося бюджета. Теперь перейдем от технических аспектов создания инфраструктуры систем точного позиционирования к вопросу и перспективам их коммерческого использования.

Создание сетей постоянно действующих базовых станций требует значительных инвестиций. После того как принято решение о развертывании систем точного позиционирования (СТП) в отдельно взятом регионе или городе, составлен проект, определены места установки базовых станций, тип и состав спутниковой и коммуникационной аппаратуры, вид и способ предоставляемых данных для дифференциального позиционирования, необходимо оценить уровень эксплуатационных расходов и возможные сроки возврата вкладываемых средств на создание системы.

При оценке расходов на эксплуатацию СТП, кроме всего прочего, необходимо учесть аренду помещений, где установлено оборудование базовых станций, центра управления, плату за пользование электроэнергией, линиями коммуникаций и трафик, затраты на ежегодную инспекцию состояния оборудования и переопределение координат антенн базовых станций.

Если организация создает спутниковую базовую станцию или небольшую сеть исключительно для собственных нужд, то возврат инвестиций возможен, только если проектируемая станция или сеть позволит значительно сократить расходы на полевые работы, обеспечив при этом необходимую точность измерений и качество результатов.

Вложенные на создание сети средства и расходы на эксплуатацию могут быть возвращены скорее в случае, если услуги или их часть предоставляются на коммерческой основе сторонним организациям. Например, на коммерческой основе может быть предоставлен доступ к распространяемым RTK и DGPS-поправкам или к RINEX-файлам и файлам «сырых» данных, размещенным на FTP-сервере. Также можно организовать услугу по выполнению обработки спутниковых измерений заказчика совместно с данными базовых станций сети, вычислению параметров трансформации и преобразованию координат из системы WGS-84 в местную систему координат. При этом передача данных и результатов обработки должна осуществляться в соответствии с установленными режимными ограничениями и соблюдением государственной и коммерческой тайн.

Получая плату за данные и услуги, предоставляемые пользователям, необходимо вести их контроль и учет. Если пользователям предоставляются RINEX-файлы для постобработки через FTP-сервер, то создается система регистрации и паролей для доступа к данным, которая генерирует отчет о том, кто вошел в систему и получил их. Таким образом, оплата будет производиться за фактиче-

ски предоставленные файлы. Предварительно можно потребовать внести некоторый регистрационный взнос.

Если RTK/DGPS-данные распространяются по радиоканалу, практически невозможно организовать систему оплаты. Решением для владельца сети базовых станций может быть арендная плата за прокат радиомодемов. Гораздо проще установить систему оплаты для пользователей при распространении данных по каналам мобильной связи или через Интернет. Можно осуществлять учет пользователей RTK-поправок путем регистрации номеров мобильных телефонов или IP-адресов у администратора СТП. Только зарегистрированные пользователи смогут получать данные системы. Программное обеспечение сервера системы будет отображать время подключения, продолжительность сеанса получения данных для каждого зарегистрированного устройства пользователя, а также тип и состав передаваемых спутниковых данных.

Если спутниковые данные распространяются с помощью Интернет-протокола NTRIP, то можно организовать доступ в систему с помощью имени и пароля [5]. Мобильные приемники смогут получать данные только, если они авторизованы. Владелец сети будет обладать полным контролем над доступом к данным, что облегчит расчеты и составление счетов за полученную информацию.

При надежной работе и приемлемой стоимости услуг СТП пользователи смогут постоянно принимать данные сети, списывая плату за их получение на производственные расходы предприятия. Но основная выгода пользователей заключается в том, что им не нужно вкладывать средства в покупку дополнительных спутниковых приемников для создания собственных базовых станций. Некоторые владельцы СТП предоставляют даже полевое оборудование (подвижные приемники) пользователям в аренду, что дает возможность выполнять работы малым предприятиям, не имеющим на балансе собственного

спутникового оборудования. При этом еще и обеспечивается полная совместимость полевых приемников с данными СТП.

Срок реализации проекта по созданию СТП во многом зависит от масштаба сети, количества станций и уровня применяемых технических решений. Для сети, состоящей из 5–10 спутниковых базовых станций, он может составить от 6 месяцев до 1 года. Однако эти сроки предварительны и зависят от многих факторов, в частности, от сроков поставки оборудования, монтажа, прокладки коммуникаций, геодезических работ по привязке и уравниванию координат спутниковых антенн базовых станций.

Срок возврата инвестиций рассчитать сложнее. Он зависит от интенсивности работы инфраструктуры системы в области ее коммерческого использования, количества пользователей, объема получаемых ими данных.

ГЛАВА 10. ЭПОХА ВЕЗДЕСУЩИХ УСЛУГ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Владелец сети постоянно действующих базовых станций ГНСС несет ответственность перед пользователями за функционирование системы, непрерывность и качество предоставляемых данных. Чем больше объем работ, выполняемых сторонними организациями с использованием данных СТП, тем больше и масштабней ответственность владельцев, операторов и администраторов системы. Сбой в работе СТП может привести не только к временным и финансовым потерям пользователей. Потери могут быть гораздо серьезнее, если конечными потребителями услуг пространственного позиционирования являются службы спасения, скорой помощи, пожарной охраны, службы безопасности, мониторинга важных объектов. Поэтому владелец сети спутниковых базовых станций должен осознать всю важность мероприятия, прежде чем начать оказывать услуги точного позиционирования и принимать плату за предоставляемые данные.

Системы точного позиционирования уже функционируют во многих странах мира, обеспечивая потребителей спутниковыми данными для определения пространственных координат дифференциальным способом. Созданной инфраструктурой пользуются не только геодезисты, топографы и строители, но и широкий круг специалистов, осуществляющих точную навигацию в различных целях. Некоторые системы предоставляют пользователям данные в режиме реального времени, а также информацию и услуги с помощью различных каналов коммуникаций, включая Интернет.

Для примера можно привести Европейскую службу спутникового позиционирования EUPOS (www.europos.org), Службу спутникового позиционирования геодезического управления Германии SAPOS (www.sapos.de), сеть референчных станций NYSNet штата Нью-Йорк в США (www6.nysdot.gov), сеть RTK базовых станций SmartFIX в Новой Зеландии (www.smartfix.co.nz), коммерческую сеть RTK базовых станций Великобритании и Ирландии SmartNET (<http://smartnet.leica-geosystems.co.uk>).

В России развитие спутниковых систем точного позиционирования также идет полным ходом, однако пока они служат сугубо для выполнения геодезических измерений и обеспечения земельно-кадастровых работ. В настоящее время функционирует Система спутникового межевания земель Москвы и Московской области ФГУП «Госземкадастр-съемка» — ВИСХАГИ (www.viskhagi.ru) [6, 7], городская сеть базовых станций в Архангельске, спутниковая опорная межевая сеть Калужской области, система спутникового позиционирования Тверской области (<http://195.162.22.50:8080/spiderweb>), спутниковая опорная межевая сеть на территории Кировской области. Реализован пилотный проект по применению спутниковых навигационных технологий и на железнодорожном транспорте. По заданию ОАО «РЖД» НИИАС создан опытный образец сети из че-

тырех постоянно действующих спутниковых базовых станций и центра управления [8].

Отметим также развернутую систему в Харьковской области на Украине [9].

Ведутся работы по развитию подобных систем в Новосибирске, Красноярске, Омске, проектируются системы в Калининграде, Алтайском и Приморском краях. Возможно это не полный список городов и регионов, где осознана необходимость и эффективность применения СТП и ведутся работы по их проектированию. Тенденция развития таких систем в России очевидна.

Формированием наземной инфраструктуры точного позиционирования занимаются различные организации и ведомства. Исторически сложилось, что сети постоянно действующих спутниковых станций развивались силами научно-исследовательских и производственных организаций, работающих в области навигации, сейсмологии, кадастра и геодезии. Однако в настоящее время за развитие СТП, кроме федеральных органов власти, взялись и региональные. Также большой интерес к этому направлению проявляют компании-операторы сотовой связи, рассчитывая предложить разнообразный выбор навигационных услуг массовому потребителю на основе интеграции спутниковых методов и сервисов LBS (Location Based Services). Позиционирование в сотовых сетях предполагает автоматическое определение местоположения устройств мобильной связи в пре-

делах зоны действия сотовых базовых станций. Для данной цели используются три основных параметра радиосигналов: амплитуда в месте приема, направление прихода и время задержки при распространении [10]. По мнению аналитиков, совместное использование LBS и спутниковых технологий определения местоположения придаст импульс развитию массовых услуг навигации и точного позиционирования.

Спутниковые технологии определения пространственного местоположения могут быть интегрированы и дополнены другими методами позиционирования, например, инерциальными. Комбинируя высокоточные спутниковые определения в сетях базовых станций и абсолютные данные гироскопов и акселерометров, можно непрерывно получать трехмерные координаты местоположения и направление движения, даже когда спутниковые сигналы принять невозможно. Определение пространственного местоположения стало возможным не только на открытой местности, но и в местах, где спутниковые сигналы недоступны: в помещениях, метро и тоннелях. Так что, несмотря на текущий финансовый кризис, мы находимся на пороге новой эпохи вездесущих услуг навигации и трехмерного позиционирования. Создающиеся сети базовых станций ГНСС уже начинают работать и являются основой наземной инфраструктуры точного позиционирования в масштабах регионов, стран и всей планеты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. GPS reference stations and networks. An introductory guide. — 2005. — Leica Geosystems. Heerbrugg, Switzerland.
2. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS (ГКИНП (ОНТА)-01-271-03). — М.: ЦНИИГАиК, 2003. — 182 с.
3. Wubbena G., Bagge A., Schmitz M. (2001) Network Based Techniques for RTK Applications. Proc. GPS JIN 2001, GPS Society, Japan Institute of Navigation, Nov. 2001, Tokyo, Japan.
4. System 1200 Newsletter. — No. 53 (2007). RTK Networks — Different Methods. Leica Geosystems. Heerbrugg, Switzerland.
5. SmartRTK: A Novel Method Of Processing Standardised RTCM Network RTK Information For High Precision Positioning (April 2008 Frank Takac, Werner Lienhart). Leica Geosystems. Heerbrugg, Switzerland.
6. Бойков В.В., Пересадько Е.С., Мельников А.В. Техническая реализация спутниковых систем межевания земель // Геопрофи. — 2004. — № 1. — С. 23–27.
7. Бойков В.В., Пересадько Е.С. Опыт эксплуатации Спутниковой системы межевания земель (проект «Москва») // Геопрофи. — 2005. — № 6. — С. 58–61.
8. Самратов У.Д., Сакович Л.А., Кривдин Д.Г. О точности определения геометрических параметров железнодорожного пути с помощью автоматизированных путеизмерительных комплексов // Геопрофи. — 2007. — № 6. — С. 28–32.
9. Горб А.И., Федоренко Р.Н. Система высокоточных спутниковых геодезических измерений в Харьковской области // Геопрофи. — 2008. — № 6. — С. 51–53.
10. Букин М. Универсальный компас LBS // Сети. — 2005. — № 10.

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ ТЕРМИНОВ НА РУССКОМ И АНГЛИЙСКОМ ЯЗЫКАХ И ИХ КРАТКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ

Базовая (референсная, опорная) станция (англ. Base station, Reference station) — спутниковый приемник в комплексе с необходимым оборудованием, относительно которого выполняется определение местоположения подвижного спутникового приемника дифференциальным спутниковым методом.

Брандмауэр (англ. Firewall) — сетевой экран, комплекс аппаратных или программных средств для защиты компьютерных сетей или отдельных узлов от несанкционированного доступа.

ГНСС (англ. GNSS — Global Navigation Satellite Systems) — глобальные навигационные спутниковые системы, включая GPS, ГЛОНАСС, Galileo и другие.

Мастер-станция (англ. Master station) — базовая станции сети, другие станции называют вспомогательными станциями (auxiliary stations)

Подвижный спутниковый приемник (англ. Rover) — спутниковый приемник в комплексе с необходимым оборудованием, местоположение которого определяется дифференциальным спутниковым методом.

Позиционирование (англ. Positioning) — определения пространственных координат объектов.

Прокси-сервер (англ. Proxy server) — служба в компьютерных сетях, позволяющая клиентам выполнять косвенные запросы к другим сетевым службам.

Сервис точного позиционирования — оказание услуг по предоставлению данных для получения точного местоположения пользователя.

СТП — система точного позиционирования.

«Сырые» спутниковые данные — данные спутниковых приемников, содержащие измерения фазы несущих частот и фазы кодов сигналов спутников ГНСС.

Угол отсечки по высоте (маска высоты) (англ. Cut-off elevation, Elevation mask) — предельный угол возвышения над горизонтом, проходящий через антенну и задаваемый в спутниковом приемнике для приема сигналов ГНСС (данные со спутников, находящихся ниже этого угла, не будут приняты при вычислениях координат).

CDMA (Code Division Multiple Access) — множественный доступ с кодовым разделением.

Choke-ring (Dorne & Margolin) антенна — спутниковая геодезическая антенна, снабженная специальным экраном с кольцами для защиты от переотраженных сигналов ГНСС. Дипольный элемент для такого типа антенн впервые был создан компанией Dorne & Margolin, Inc. (США).

СОМ — двунаправленный последовательный интерфейс, предназначенный для обмена байтовой информацией.

Compact RINEX (Hatanaka) — формат RINEX компактной записи данных спутниковых приемников.

CORS (Continuous Operation Reference Station) — постоянно действующая спутниковая базовая станция или постоянно действующая базовая станция ГНСС

DGPS (Differential GPS) — определение пространственных координат с использованием спутниковых дифференциальных поправок в режиме реального времени.

DNS (Domain Name System — система доменных имен) — распределенная система (распределенная база данных), способная по запросу, содержащему доменное имя компьютера или другого сетевого устройства, сообщить его IP-адрес или другую информацию.

Ethernet — пакетная технология обмена информацией в компьютерных сетях.

FKP (Flachen-Korrektur Parameter) — метод представления сетевых спутниковых поправок или метод площадных поправок.

FTP-сервер (File Transfer Protocol Server) — сервер обмена файлами в компьютерных сетях.

GPRS (General Packet Radio Service) — надстройка над технологией мобильной связи GSM, осуществляющая пакетную передачу данных. GPRS позволяет пользователю сети сотовой связи проводить обмен данными с другими устройствами в сети GSM и с внешними сетями, в том числе Интернет.

GSM (Groupe Special Mobile или Global System for Mobile Communications) — глобальный цифровой стандарт для мобильной сотовой связи. Разработан под эгидой Европейского института стандартизации электросвязи (ETSI) в конце 1980-х гг.

IGS (International GNSS Service, ранее — International GPS Service) — международная ГНСС-служба осуществляющая свою деятельность под руководством Международной ассоциации геодезистов (IAG) и обеспечивающая бесплатно пользователей результатами наблюдений, высокоточными эфемеридами и параметрами вращения Земли.

IP-адрес (Internet Protocol Address) — уникальный идентификатор (адрес) устройства (обычно компьютера), подключенного к локальной сети или сети Интернет.

LAN (Local Area Network — локальная вычислительная сеть) — компьютерная сеть, покрывающая обычно относительно небольшую территорию или группу зданий (дом, офис, фирму, институт).

LBS (Location Based Services) — тип информационных услуг, основанных на определении текущего местоположения пользователя в сетях мобильной сотовой связи.

MAC (Master Auxiliary Concept) — концепция создания RTK-поправок.

MAX (Master Auxiliary Corrections) — метод создания сетевых спутниковых поправок или мастер вспомогательных станций.

NMEA (National Marine Electronics Association protocol — NMEA 0183) — стандартный протокол передачи координат, времени и другой сопутствующей информации при использовании спутниковых навигационных приемников.

NTRIP (Network Transport of RTCM on Internet Protocol) — протокол передачи данных ГНСС через Интернет.

Post-processing mode — режим измерений с записью данных для последующего вычисления пространственных координат в камеральных условиях (постобработка).

PPS (Pulse Per Second) — вывод меток точного времени спутниковым приемником.

PRS (Pseudo-reference Station Method) — метод представления сетевых спутниковых поправок или метод псевдо базовой станции.

Real-Time mode — измерения в режиме реального времени.

RINEX (Receiver INdependent EXchange format) — независимый обменный формат данных спутниковых приемников GPS. Рекомендован IAG в 1989 г.

RS232C (Recommended Standard 232) — стандарт последовательной синхронной и асинхронной передачи двоичных данных между терминальным оборудованием и связным оборудованием.

RTCM SC 104 format — формат данных для дифференциальных поправок при передаче их от базовой станции к подвижному приемнику в режиме реального времени.

RTK (Real Time Kinematic) — кинематика в режиме реального времени, определение пространственных координат с использованием спутниковых дифференциальных поправок в режиме реального времени.

TEQC (Translation, Editing, Quality Checking toolkit) — специальное программное обеспечение для редактирования, конвертирования из формата в формат и контроля качества данных спутниковых измерений.

TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) — сетевой протокол, определяющий обмен данными между различными программами, используемыми в компьютерных сетях.

Virtual Reference Station Method — метод представления сетевых спутниковых поправок или метод виртуальной базовой станции.

WAN (Wide Area Network — глобальная вычислительная сеть) — представляет собой компьютерную сеть, охватывающую большие территории и включающую десятки и сотни тысяч компьютеров.

WLAN (Wireless Local Area Network) — беспроводная локальная вычислительная сеть, где передача данных осуществляется через радиозфир; объединение устройств в сеть происходит без использования кабельных соединений. Наиболее распространенными в настоящее время способами построения являются Wi-Fi и WiMAX.

ПОЛЕЗНЫЕ ИНТЕРНЕТ-ССЫЛКИ

Проект «Москва»

Спутниковая сеть Центра спутниковых технологий ФГУП «Госземкадастръёмка» — ВИСХАГИ на территории Москвы и Московской области
www.viskhagi.ru/gps_networks/Moscow/index.html

СТП Тверской области

Сеть спутниковых базовых станций на территории Тверской области
<http://195.162.22.50:8080/spiderweb>

EUPOS

Европейская служба спутникового позиционирования
www.eupos.org

EUREF

Информация о сети EUREF
www.epncb.oma.be

IGS

Общая информация о сети IGS
<http://igscb.jpl.nasa.gov>

ITRF

Международная земная система отсчета
<http://itrf.ensg.ign.fr>

NGS

Национальная геодезическая служба США
www.ngs.noaa.gov

NMEA

Национальная морская ассоциация электроники США
www.nmea.org

NYSNet

Сеть референчных станций штата Нью-Йорк в США
www.nysdot.gov

RINEX

Информация о формате RINEX
<http://igscb.jpl.nasa.gov/igscb/data/format/rinex211.txt>

RTCM

Информация о формате RTCM
www.rtcn.org

SAPOS

Служба спутникового позиционирования геодезического управления Германии
www.sapos.de

SOPAC

Информация о станциях сети IGS и о порядке получения файлов в формате RINEX
<http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/dbShowArraySitesMap.cgi>

SmartFIX

Сеть RTK базовых станций в Новой Зеландии
www.smartfix.co.nz

SmartNET

Коммерческая сеть RTK базовых станций Великобритании и Ирландии
<http://smartnet.leica-geosystems.co.uk>

UNAVCO

Информация по программе TEQC
www.unavco.org/facility/software/preprocessing/preprocessing.html

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
От автора	4
От спонсора издания	6
Введение	8
Глава 1. Оборудование для постоянно действующей базовой станции ГНСС	12
Приемники ГНСС	12
Антенны ГНСС	13
Крепление антенны	14
Антенные кабели	14
Источники электропитания	15
Защита от молний и гроз.....	15
Метеорологические датчики	16
Датчики наклона	16
Глава 2. Программное обеспечение для постоянно действующей базовой станции ГНСС	16
Глава 3. Затраты на оборудование постоянно действующей базовой станции ГНСС	17
Глава 4. Выбор места установки постоянно действующей базовой станции ГНСС	18
Глава 5. Проектирование сети постоянно действующих базовых станций ГНСС	20
Расстояния между базовыми станциями сети	20
Количество базовых станций сети	21
Глава 6. Центр управления сетью постоянно действующих базовых станций ГНСС	23
Общее назначение	23
Функции центра управления	23
Глава 7. Сетевые дифференциальные поправки	24
Виды сетевых поправок и их особенности.....	25
Преимущества и недостатки сетевых RTK-поправок	28
Формирование поправок путем комбинирования спутниковых данных	29
Глава 8. Каналы связи	30
Каналы связи между базовыми станциями и центром управления	30
Каналы для связи с пользователями подвижных спутниковых приемников ГНСС	32
Преимущества и недостатки радио и мобильной связи	35
Использование сети Интернет для передачи и приема RTK и DGPS-поправок	35
Выбор средств связи	36
Глава 9. Возврат инвестиций на создание систем точного позиционирования	36
Глава 10. Эпоха вездесущих услуг позиционирования	38

Список литературы	40
Принятые сокращения терминов на русском и английском языках и их краткое определение	41
Полезные Интернет-ссылки	44

Евстафьев Олег Валерьевич

**Наземная инфраструктура ГНСС для точного
позиционирования**

Редактор М.С. Романчикова
Дизайн обложки В.А. Богоутдинов
Предпечатная подготовка ООО «Информационное агентство «ГРОМ»

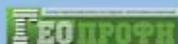
Подписано в печать 07.09.2009 г. Бумага мелованная. Формат 70x100 1/16. Гарнитура OfficinaSansC.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 3. Тираж 500 экз. Заказ № 206.

Отпечатано в типографии ООО «Издательство «Перспектив»
119606, Москва, пр-т Вернадского, 84



Евстафьев Олег Валерьевич

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». После окончания МИИГАиК 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 январь 2009 г. – ведущий специалист по спутниковому геодезическому оборудованию в региональном офисе Leica Geosystems, с марта 2009 г. – руководитель ВТК НПК «Рекод», с апреля 2009 г. – ведущий эксперт ООО «Фирма Г.Ф.К.».



Информационное агентство «ГРОМ»

Тел: (495) 223-32-78

E-mail: info@geoprofi.ru

Интернет: www.geoprofi.ru