

ОРГАНИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДОМ «ОБРАТНОГО» РТК ПРИ ГЕОДЕЗИЧЕСКОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ВЫСОТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Г.Г. Гашев («Интер-Гео», Екатеринбург)

В 2007 г. окончил радиотехнический факультет Уральского государственного технического университета по специальности «вычислительные машины, комплексы, системы и сети». После окончания университета работал в ФГУП «Уралаэрогеодезия» (Екатеринбург). С 2009 г. работает в компании «Интер-Гео», в настоящее время — начальник отдела технической поддержки. Аспирант Института геофизики им. Ю.П. Булашевича УРО РАН (Екатеринбург).

Мосты, небоскребы, телебашни — при взгляде на эти строения не только захватывает дух от восхищения, но и рождаются вопросы, связанные со сложностью переноса планового и высотного положения реперов внутренней разбивочной сети сооружения с исходного на монтажный горизонт.

После возведения (залитки) очередного этажа для выноса в натуре строящихся на нем конструкций необходимо иметь опорные точки в системе координат здания. При последовательном переносе координат реперов внутренней разбивочной сети с этажа на этаж традиционными геодезическими методами накапливаются ошибки позиционирования, что неминуемо приводит к выходу за пределы допуска, установленного нормативной строительной документацией [1]. В связи с этим необходимо добиться гарантированной точности, единообразия получаемых данных вне зависимости от человеческого фактора, погодных условий и технологий возведения сооружения. Единственным источником обеспечения единства системы координат на исходном и монтажном горизонтах являются реперы разбивочной сети со-

оружения, находящиеся на определенном расстоянии от него. Оптимально, когда реперы вынесены за пределы зоны влияния строительства, что позволяет сохранить их в максимальной неприкосновенности.

В настоящее время для решения этой проблемы существует два альтернативных метода: оптический, с помощью приборов вертикального проектирования, теодолитов или электронных тахеометров, и спутниковый, с использованием геодезических приемников ГНСС.

Приборы вертикального проектирования являются наиболее доступным по цене средством передачи координат с исходного горизонта на верхние этажи. Используя этот метод, на каждом новом монтажном горизонте над местом установки прибора вертикального проектирования на исходном горизонте необходимо оставлять технологические (смотровые) отверстия, которые бетонируются во время окончательной отделки этажа. Последовательность работ по передаче координат при этом следующая. Прибор вертикального проектирования устанавливается над репером внутренней разбивочной сети сооружения на исходном горизонте. Как

правило, репер бетонируется в основании сооружения на высоте до 1,5 м и имеет резьбовое соединение для принудительного центрирования подставки прибора. После приведения подставки прибора в горизонтальное положение его лазерный луч, благодаря компенсатору, занимает вертикальное положение. Центр лазерного луча, проходящего через смотровые отверстия, на монтажном горизонте фиксируется на палетке из прозрачного материала (рис. 1). Тахеометр, с помощью которого выполняются разбивочные работы, устанавливается на штативе над полученной точкой и центрируется.

Несмотря на кажущуюся простоту и эффективность, дан-



Рис. 1
Палетка прибора вертикального проектирования

ный метод имеет ряд существенных недостатков:

- лазерный луч при удалении от прибора рассеивается, и проецируемая точка увеличивается в диаметре;

- центр лазерного луча на прозрачной палетке фиксируется оператором «на глаз», что неизбежно приводит к погрешности;

- высотное здание совершает колебательные движения под воздействием различных факторов (собственные колебания здания, температурный нагрев от солнечных лучей, ветровые нагрузки и др.), поэтому проецируемая точка имеет форму вытянутого эллипса, что усложняет поиск центра лазерного луча;

- часто отделочные работы при возведении высотных сооружений выполняются параллельно со строительными и отстают лишь на 5–7 этажей от верхнего монтажного горизонта. Поэтому оставлять смотровые отверстия для приборов вертикального проектирования не всегда получается, и, следовательно, их местоположение приходится переносить, что влечет за собой неминуемые погрешности при передаче плановых координат на текущий монтажный горизонт.

Другим вариантом является применение электронного тахеометра. При использовании данного метода на монтажном горизонте размещают марки (или отражательные призмы), координаты которых определяют с помощью тахеометра, устанавливаемого на реперах разбивочной сети сооружения. Далее, тахеометр перемещают на текущий монтажный горизонт и определяют его координаты методом обратной геодезической засечки относительно марок. Возможно также определение координат тахеометра методом обратной засечки относительно

реперов разбивочной сети сооружения (при наличии прямой видимости на них).

Недостатки в данном случае практически те же, различия зависят только от типа прибора:

- чем выше находится определяемая точка над тахеометром, тем меньше измеряемый вертикальный угол, что в итоге снижает точность определения координат (при этом выполнять измерения без использования наклонных насадок крайне затруднительно);

- колебания высотного здания затрудняют точное наведение перекрестия сетки нитей тахеометра на размытую точку обоснования либо призму.

В отличие от оптических приборов приемники ГНСС исклю-

чают проблему наведения [2]. Один приемник устанавливают на монтажном горизонте, а другой — на исходном, на точке разбивочной сети (на штативе или с помощью резьбового соединения репера, смонтированного в бетон). Данные, полученные за все время наблюдений, усредняются, что позволяет достичь оптимальной точности определения пространственных координат, а также в значительной степени исключить человеческий фактор и накопление других погрешностей.

Рассмотрим данную технологию более подробно на примере ее практической реализации в ООО «Интер-Гео» (официального дилера оборудования компании JAVAD GNSS) с использова-

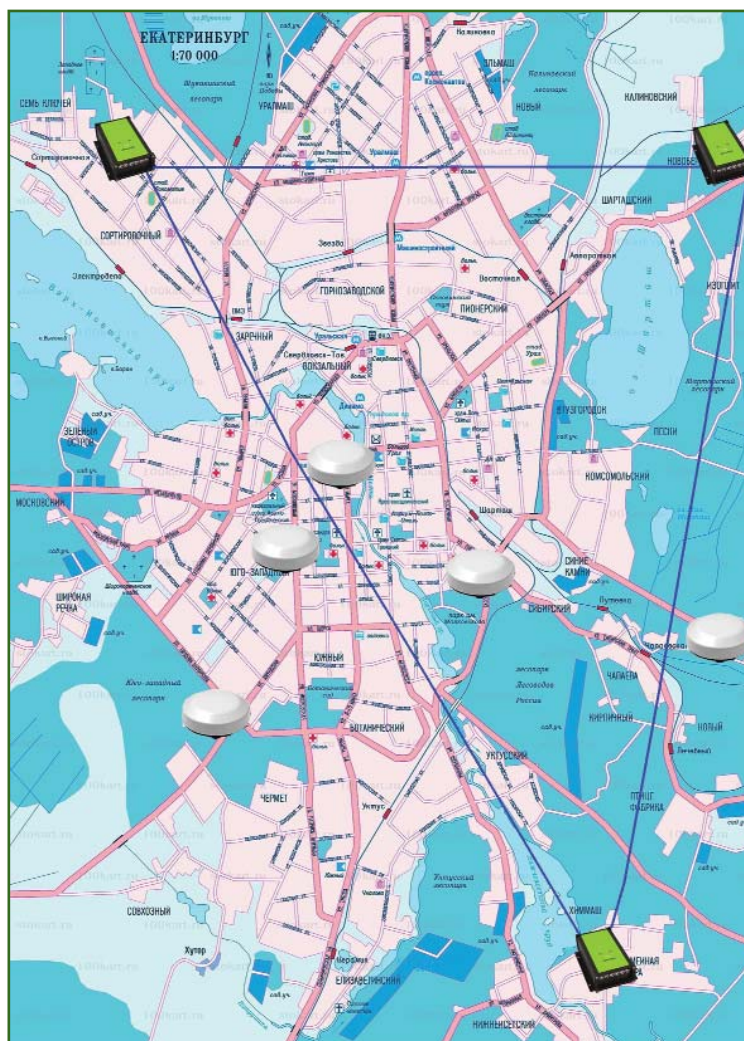


Рис. 2

Схема размещения базовых станций в г. Екатеринбурге

нием данных с постоянно действующих базовых станций ГНСС, объединенных в единую сеть, функционирующую на территории г. Екатеринбурга.

Три базовые станции данной сети установлены на объектах, принадлежащих заказчику (ОАО «Атомстройкомплекс»), что гарантирует их сохранность и надежность результатов измерений. Наличие такой сети обеспечило максимальное покрытие территории, на которой работает компания «Интер-Гео» (рис. 2.) Базовые станции подключены к сети Интернет и имеют открытые («белые») статические IP-адреса, что позволяет получать данные 24 часа в сутки при любом возможном варианте выхода в Интернет.

Работу оператора с приемниками ГНСС при геодезическом обеспечении строительства высотного сооружения можно разделить на три этапа:

1. Получение ключа перехода из WGS-84 в систему координат строящегося объекта.

2. Определение координат опорных точек на монтажном горизонте приемниками ГНСС.

3. Вынос в натуру положения строящихся конструкций на монтажном горизонте электронным тахеометром.

Первый этап выполняется после создания разбивочной сети сооружения перед началом строительства. Для этих целей, кроме трех постоянно действующих базовых станций, создающих осевые линии треугольника, на реперах разбивочной сети сооружения устанавливаются два приемника ГНСС JAVAD TRIUMPH-1, работающие в режиме «статика» (рис. 3). Это позволяет замкнуть локальный строительный контур и уравнять его не только внутри себя, но и относительно базовых станций. При этом происходит проверка координат реперов ранее созданной разбивочной сети объекта и делается вывод о

ее пригодности к дальнейшему использованию.

Второй и третий этапы повторяются на каждом монтажном горизонте. Причем третий этап ничем не отличается от традиционных геодезических разбивочных работ с помощью электронного тахеометра (или теодолита). Единственное его отличие в том, что на монтажном горизонте координаты опорных точек, к которым выполняется привязка тахеометра, определяются на втором этапе с помощью приемника ГНСС, а их количество и местоположение зависит от организации строительно-монтажных работ. Наличие избыточного количества опорных точек позволяет при определении координат тахеометра с помощью многократной обратной геодезической засечки выполнять в режиме реального времени геометрический контроль сходимости результатов (рис. 4). Это дает возможность избежать ошибок при выносе планового и высотного положений возводимых строительных конструкций.

Остановимся подробнее на втором этапе, так как от качества измерений, выполняемых на этом этапе, зависит точность передачи пространственных координат на монтажный горизонт.

Для определения координат опорных точек на монтажном горизонте необходимо иметь два приемника ГНСС. Один приемник, который выполняет роль базового, устанавливается в пункте разбивочной сети сооружения, а другой, подвижный приемник, — на монтажном горизонте, на штативе или заранее забетонированном репере с резьбой.

Определение пространственных координат подвижного приемника ГНСС можно выполнять двумя методами: в режиме «постобработки» или в режиме реального времени с по-

мощью программного обеспечения (ПО) JAVAD Justin — «обратного» RTK.

«Постобработка». При использовании этого метода измерения проводятся одновременно обоими приемниками ГНСС. Причем время измерения (t) определяется по формуле, многократно проверенной практикой. Итоговое время измерений на реперах с момента старта записи «сырых» данных в приемник рассчитывается по следующему правилу:

$$t = 10 \text{ мин.} + 1 \text{ мин.} \times L_{\max}$$

где L_{\max} — длина самой длинной базовой линии в сети в км.

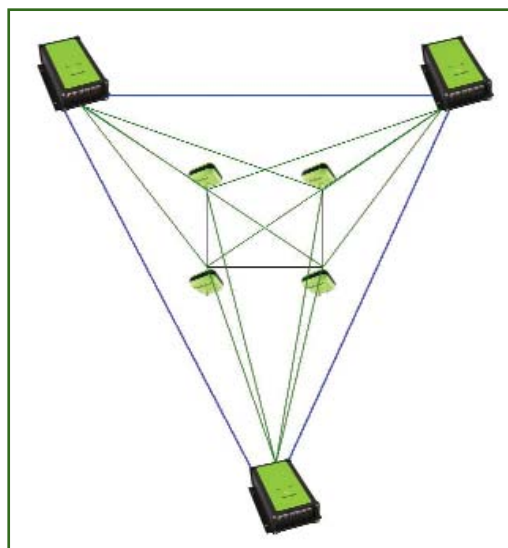


Рис. 3

Схема расположения базовых станций и приемников ГНСС JAVAD TRIUMPH-1 на строящемся объекте при определении ключа перехода

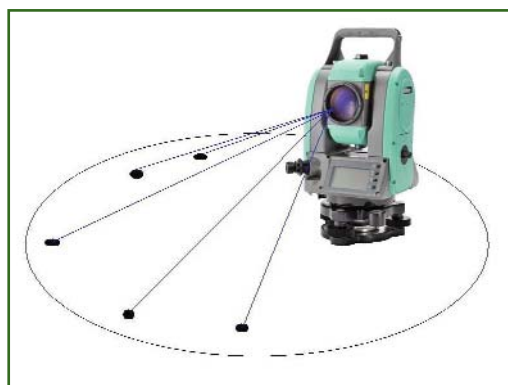


Рис. 4

Многократная обратная геодезическая засечка на монтажном горизонте

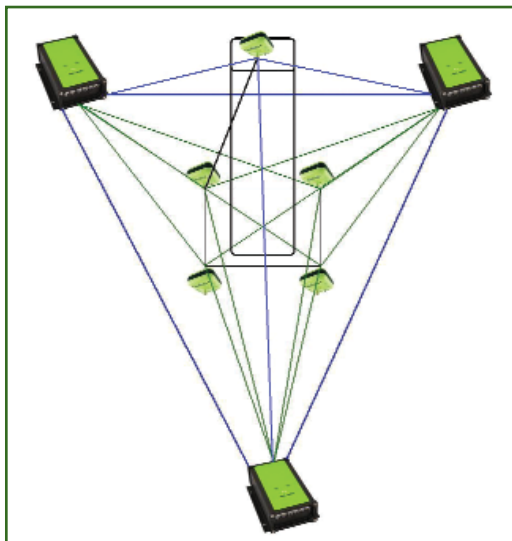


Рис. 5

Графическое представление опорной точки на монтажном горизонте

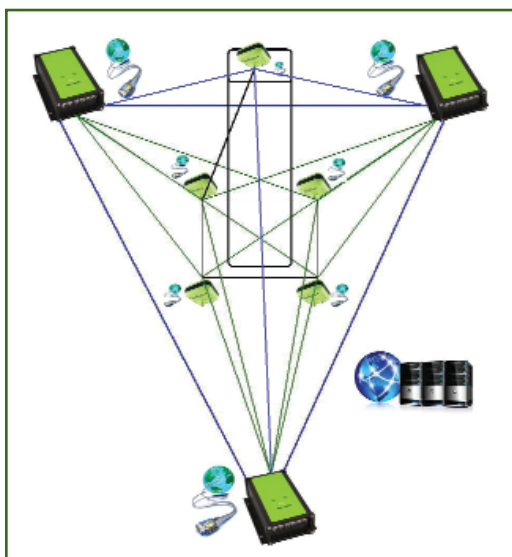


Рис. 6

Измерения методом «обратного» RTK

Таким образом, в геометрическом представлении опорная точка на монтажном горизонте является вершиной пирамиды, в основании которой расположены три постоянно действующие базовые станции, с контролем по высоте от пункта разбивочной сети строящегося объекта, находящемся на исходном горизонте (рис. 5). Благодаря многократному уравниванию полученных измерений обеспечивается вычисление координат точки на монтажном горизонте в

плане и по высоте с максимальной точностью, соответствующей требованиям СП [1] и проектной документации на строительство сооружения.

«Обратный» RTK. При использовании этого метода пространственные координаты подвижного приемника ГНСС определяют в режиме реального времени непосредственно на монтажном горизонте с помощью программного обеспечения JAVAD Justin [2, 3]. Для проведения измерений оператор подключается к приемникам ГНСС на постоянно действующих базовых станциях, а также находящимся на исходном и монтажном горизонтах по протоколу TCP/IP. Средством связи в данной ситуации может выступать GPRS-модем, Wi-Fi/LAN, встроенный в приемник, либо любое другое устройство, подключенное к контроллеру через Bluetooth. С помощью ПО JAVAD Justin проводится расчет методом «обратного» RTK. Точность измерений задается в программе Justin и контролируется в режиме реального времени. При подключении подложки процесс измерений становится более информативным и наглядным. Структурная схема данного варианта измерений представлена на рис. 6. В результате оператор получает координаты опорной точки на монтажном горизонте в системе координат строящегося объекта в режиме реального времени, что положительно сказывается на оперативности проведения работ.

Для метода «обратного» RTK существенным преимуществом является наличие двух и более базовых приемников на пунктах разбивочной сети сооружения на исходном горизонте, что позволяет преодолеть проблему ложной фиксации неоднозначностей фазовых измерений. Единственным критерием достоверности решения в традици-

онном RTK является так называемый уровень контраста. При малом количестве принятых в обработку спутников (<6) показатель контраста или производный от него (по критерию Фишера) не является состоятельной оценкой. В методе «обратного» RTK, реализованного с помощью ПО JAVAD Justin, применяется многобазовая обработка, аналогичная обратной геодезической засечке, исключая «висячие» передачи координат.

Таким образом, благодаря применению технологии ГНСС решаются основные проблемы классических методов геодезических измерений, возникающие при строительстве высотных объектов: обеспечивается точная передача пространственных координат на новый монтажный горизонт от реперов разбивочной сети сооружения и повышается надежность выноса проекта в натуру за счет уменьшения влияния человеческого фактора.

▼ Список литературы

1. СП 126.13330.2012 Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84.
2. Разумовский А.И. Определение позиции в режиме реального времени с помощью ПО Justin или «обратный» RTK // Геопрофи. — 2012. — № 3. — С. 44-46.
3. ГНСС-оборудование JAVAD при геодезическом обеспечении строительства Русского моста // Геопрофи. — 2012. — № 5. — С. 43-45.

RESUME

Actively developing high-rise building requires highly accurate, fast and scalable methods for geodetic monitoring horizontal and vertical position of the erected structures that are independent on the human factor negative influence. Possible applications of the GNSS technologies for geodetic support and quality control in the construction of one of the high-rise objects in the city of Yekaterinburg are considered.