

УДК: 528.486.3

ПРИМЕНЕНИЕ КИНЕМАТИКИ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

© О.С. Лесюта¹, В.А. Миронов²

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

²ООО «ГипродорНИИ-Сибирь»
664007, г. Иркутск, ул. Горная, 24, оф. 432.

В статье рассмотрен вопрос применения спутниковой навигационной технологии на примере изысканий, проектирования и строительства автомобильных дорог. В частности, рассмотрено применение этой технологии в режиме кинематики реального времени для создания опорных геодезических сетей, производства тахеометрических съемок и разбивочных работ.

Ил. 6. Табл. 3. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: RTK технология, кинематика реального времени, спутниковая навигационная система, GPS, ГЛОНАСС, BeiDou.

APPLICATION OF REAL TIME KINEMATIC

O. Lesyuta, V. Mironov

Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov Str., Irkutsk, Russia, 664074.

ООО "GiproDor NII-Sibir"

24 Gornaya Str., office 432, Irkutsk, Russia, 664007

The article considers the usage of satellite navigation system in case of surveys, project engineering and roads construction. Specifically, application of this technology in real time kinematic mode is considered in order to establish geodetic control networks and to perform tachometric and location surveys.

Keywords: RTK technology, real time kinematic, satellite navigation system, GPS, GLONASS, BeiDou.

Введение

В данной статье раскрывается и обосновывается применение спутниковой навигационной системы с приемниками геодезического класса в режиме кинематики реального времени – RTK (Real Time Kinematic). Материал подготовлен на основе опыта использования геодезических приемников спутниковых сигналов GPS/ГЛОНАСС, а также GPS/ГЛОНАСС/BeiDou в режиме RTK.

В настоящее время, в связи с постоянно возрастающими требованиями к результатам строительства автомобильных дорог, наряду с внедрением цифровых технологий в строительное производство, возникает необходимость оптимизации, по возможности автоматизации, а также повышения точности инженерно-геодезических работ на всех стадиях производства от изысканий до строительства.

В данный момент на рынке существуют различные технологии, используемые для производства топографо-геодезических работ. В частности это методы дистанционного зондирования земли, методы получения фотографической информации и лазерного сканирования с применением космических и воздушных летательных аппаратов, в том числе и беспилотной авиации. Однако эти методы могут решить только одну задачу – получение крупно- или мелкомасштабных фотоснимков, планов и карт изыскиваемой местности. В то же время применение этих методов не всегда оказывается эффективным, из-за своей дороговизны, или недостаточной точности и детальности информации, а также по другим причинам, вынуждающим отказаться от применения аэрокосмических методов и лазерного сканирования. Выше обозначенные технологии в значительной мере способны сократить время проведения полевых работ, но при этом существенно увеличить время выполнения камеральной обработки материалов. При этом в большинстве случаев, получение топографической информации воздушными методами требует применения и наземного сегмента, а именно это создание опорных сетей и опорных точек – маркеров для привязки фотоснимков, а также полевого дешифрирования полученного материала.

¹ Лесюта Олег Сергеевич, кандидат физико-математических наук, студент-магистрант гр. АДМ-14 кафедры автомобильных дорог, e-mail: oleg.lesyuta@yandex.ru
Lesyuta Oleg, Candidate of Physico-mathematical Sciences, a graduate student of group ADM-14 at Roads Department, e-mail: oleg.lesyuta@yandex.ru

² Миронов Владимир Александрович, главный специалист по геодезии ООО «ГипродорНИИ-Сибирь», e-mail: vmironov07@mail.ru
Mironov Vladimir, chief specialist surveying of "GIPRODORNII-Siberia", e-mail: vmironov07@mail.ru

Наряду с развитием новых технологий, таких как воздушные и аэрокосмические фотографические методы, космическое, воздушное и наземное лазерное сканирование, также остается актуальным классический наземный метод производства работ. Но за последние десятилетия наземный метод практически не претерпел никаких изменений, за исключением появления электронных тахеометров и нивелиров, пришедших на смену теодолитам и нивелирам без компенсаторов.

Тем не менее классический метод наземной технологии несет за собой значительные затраты временных ресурсов. Если выполнение линейных измерений, в современных тахеометрах практически исключает ошибки, за исключением ошибок пользователя (некорректно установленные вешки над центром, отсутствие должного контроля над уровнем прибора и отражателя и т.д.), то выполнение угловых измерений требует особого внимания, где достаточно легко получить ошибки. Ошибки возникают по вине пользователя, как в процессе измерений, так и в процессе транспортировки приборов, особенно в тяжелых условиях приводящие к появлению систематических ошибок.

Одним из факторов в появлении случайных ошибок является то, что в случае обнаружения нескольких они могут компенсироваться и в одиночном теодолитном ходе не всегда возможно их выявить, при этом общая угловая невязка хода будет допустимой. На выходе получаем допустимые характеристики теодолитного хода, по факту имеющего погрешности, временами значительные, в плановом положении пунктов. Еще одним значимым аспектом данной технологии является недобросовестность исполнителей, способных «вручную» нивелировать полученные погрешности.

Замена традиционной технологии стала возможна в результате использования спутниковых навигационных систем.

Одним из путей решения данной задачи может быть комплексное применение спутниковой навигационной технологии на всех этапах от подготовки топографической основы для проектирования до строительства и эксплуатации автомобильных дорог.

Спутниковая навигационная технология появилась на российском рынке в середине 90-х годов прошлого века. Тогда она была представлена односистемной, и зачастую одночастотной аппаратурой. В настоящее время, в связи с развитием космических систем разными странами (США, Россия, Китай и Евросоюз) происходила и эволюция приемников спутниковых сигналов геодезического класса.

В последние годы, в связи с возросшей орбитальной группировкой, помимо всем давно известной и применяемой системы GPS (США), получили широкое распространение отечественная система ГЛОНАСС, а за тем и китайская COMPASS /BeiDou, а также развивающаяся в настоящее время система Galileo (Евросоюз). Тем самым количество наблюдаемых одновременно спутников достигает 25–30 единиц, что обеспечивает в сложной, закрытой местности создание геодезических сетей и выполнение съемок, там где раньше это не представлялось возможным.

Приемники спутниковых сигналов геодезического класса, использующие в своем арсенале комбинацию из двух и более спутниковых систем можно назвать мультисистемными.

Принципы работы спутниковой технологии давно известны, на эту тему издано достаточно много публикаций.

Применение спутниковой навигационной технологии в инженерно-геодезических работах. Статический и быстростатический режим измерений

Одной из основных задач инженерно-геодезических изысканий для разработки проектной и рабочей документации строительства, реконструкции и капитального ремонта автомобильных дорог, наряду с созданием цифровой модели ситуации и рельефа местности, является создание опорной геодезической сети и плано-высотного обоснования.

При этом не стоит учитывать государственную геодезическую сеть, ее состояние и точность. Зачастую современное состояние геодезической сети можно характеризовать как неудовлетворительное в основном, в плане ее сохранности. Большая часть уничтоженных пунктов геодезической сети приходится на населенные пункты и прилегающие к их границам районы. Вызвано это в первую очередь процессами строительства и реконструкции, как объектов жилищного фонда, объектов транспорта, так и в связи с развитием индивидуальной частной застройки и др. Уничтожение пунктов государственной сети наблюдается не только в населенных пунктах и их окрестностях, но и в необжитых местах. Это связано в первую очередь с хищением наружных знаков пунктов (металл, дерево), в результате чего просто не представляется возможным отыскание пункта. Другим немаловажным аспектом гос. сети является ее точность. Создание сети выполнялось в те времена, когда не было особого развития вычислительной техники, с использованием аналоговых геодезических приборов. Это и является основным источником получения ошибок в координаты исходных пунктов.

Ввиду изложенного выше, и возникает необходимость создания опорной геодезической сети. Опорная геодезическая сеть на объекте является основой для любого рода работ, связанных с геодезией.

Создание опорной геодезической сети традиционными методами, а именно построением линейно-угловых сетей, проложением ходов полигонометрии и т.д. является достаточно трудоемким, ресурсоемким и требующим больших затрат времени процессом.

Альтернативой построения опорных сетей может быть спутниковая навигационная технология. Поэтому применение мультисистемных приемников спутниковых сигналов для создания опорных геодезических сетей является достаточно эффективным, и зачастую единственно возможным методом.

Пример классического построения опорной геодезической сети методом статики или быстрой статики приведен на рис. 1.

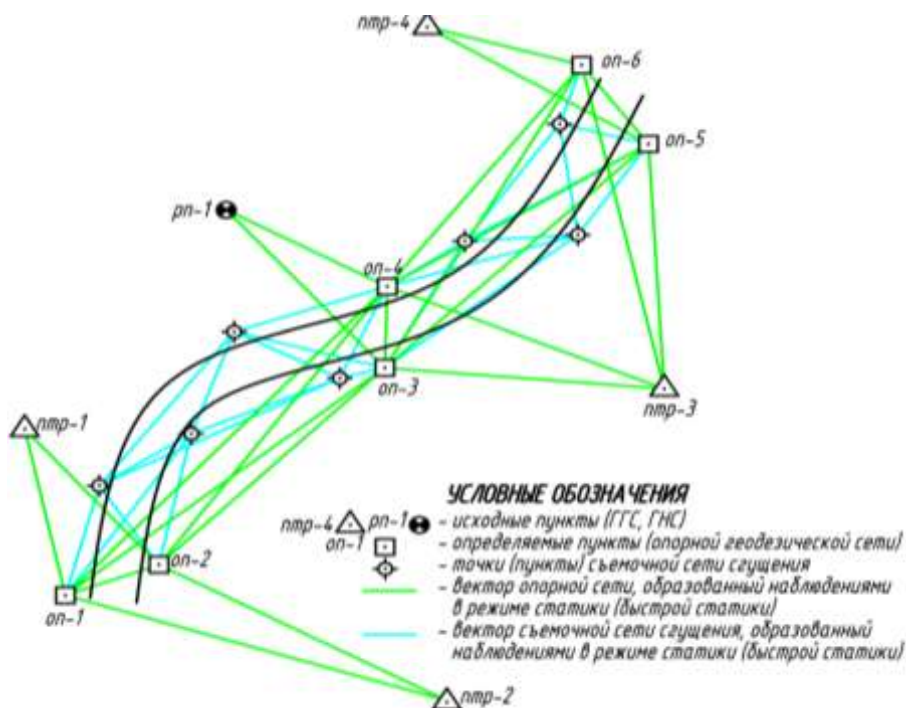


Рис. 1. Пример построения сети методом статики, быстрой статики

Точность относительных быстростатических определений, которую обеспечивают современные мультисистемные приемники, является сантиметровой, т.е. до 2 см при определении плановых координат и до 3 см при определении высотной составляющей при длине вектора до 30 км. Так, например, некоторые спутниковые приемники последнего поколения способны обеспечить точность в статическом режиме до $\pm 3,0$ мм + 0,1 мм/км в плане и $\pm 3,5$ мм + 0,4 мм/км по высоте, для быстростатического режима эти показатели не многим хуже и составляют $\pm 3,0$ мм + 0,5 мм/км при определении плана, и $\pm 5,0$ мм + 0,5 мм/км для высоты [1]. При таких условиях точность измерения базового вектора на расстоянии 30 км в режиме быстрой статики составит 2 см, при том, что в статическом режиме эти точности составят 6 и 15 мм, соответственно.

В сравнении этих режимов, в ракурсе использования временных ресурсов, можно отметить, что в режиме быстрой статики, для получения вышеприведенных точностей, достаточно 5–20 мин. при совместном единовременном наблюдении не менее 6 ИСЗ, всеми приемниками, участвующими в сеансе наблюдений. При тех же равных условиях для режима статики требуется, согласно [2], не менее 60 мин для одного сеанса наблюдений.

В соответствии с изложенным представляется, что применение режима быстрой статики является наиболее эффективным в плане использования временных ресурсов, при незначительной потере точности, при соблюдении требований к точности создания опорных сетей, регламентированных приложением Г [3]. Очевидно, что точность современного спутникового оборудования является достаточной для создания опорных сетей, служащей основой, как изыскательских, так и строительных работ.

Методы построения сетей всем давно известны и не стоит на этом подробно останавливаться. Кроме этого в основном сети создаются замкнутыми фигурами, как правило, это треугольники, которые должны опираться не менее чем на пять исходных пунктов, при определении трех составляющих пространственного положения точки, и не менее чем на четыре пункта при определении только

планового положения точек сети. При этом стоит учитывать, что указано минимально необходимое количество исходных данных, а при значительной протяженности объекта следует пропорционально увеличивать количество пунктов основы.

Также существуют проблемы при определении планового и высотного положения пунктов. Как известно точность исходных пунктов зачастую не соответствует требуемым нормативным параметрам, ввиду разного рода погрешностей. В ситуации построения сети с использованием геодезической спутниковой аппаратуры напротив – сеть получается «чрезмерно» точной. Таким образом, создаваемая опорная сеть получается на порядок, а то и более, точнее исходной. При этом существующие методики не предлагают широкого выбора сохранения геометрических и точностных параметров создаваемой сети. Как правило, все сводится к уравниванию сети по методу наименьших квадратов, с использованием программных пакетов, которые предлагают производители приемников, т.е. по сути, вносятся в создаваемую сеть ошибки исходных данных. Неизменность точностных и геометрических характеристик создаваемой сети – это важный фактор при создании опорной геодезической сети при изысканиях автомобильных дорог, будь то новое строительство, реконструкция или ремонт. При этом необходимо проявить гибкость к подходу, для поиска оптимального решения, с одной стороны для качественной привязки к исходной системе координат и высот, а с другой – чтобы минимизировать искажения сети.

Кинематика реального времени

Следующим этапом развития спутниковой технологии стало появление кинематики реального времени RTK (Real Time Kinematic). Суть технологии сводится к применению двух и более приемников, один из которых является «базовым», установленным на пункт с исходными координатами (пункт опорной или пункт государственной сети), а остальные являются роверами – подвижными приемниками (пример схемы построения сети приведен на рис. 2). При этом для работы данной схемы необходимо отслеживание одних и тех же спутников и базовой станцией, и роверами. При этом базовая станция, имея исходные координаты пункта на котором установлена, вычисляет необходимые коррекции и по средствам радиосвязи, голосового канала GSM, или GPRS/internet «раздает» полученные поправки роверам. Способ передачи поправок значения не имеет, а лишь обусловлен целесообразностью применения того или иного канала для конкретной местности и местных условий.

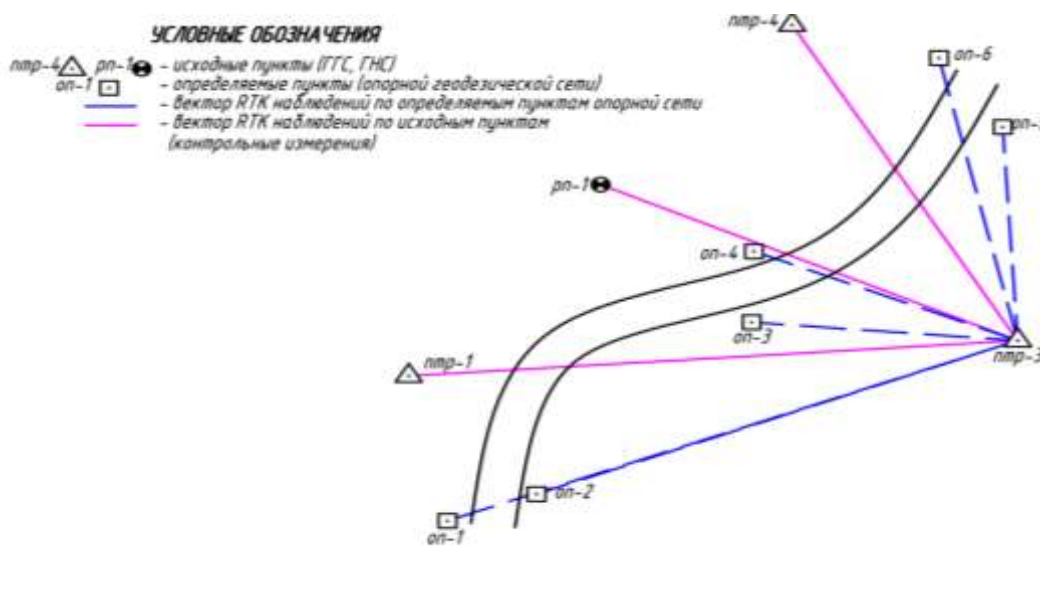


Рис. 2. Схема построения сети в режиме одиночного RTK

Точность, которую обеспечивает «современная» RTK, на порядок хуже быстростатистических определений, но, тем не менее, остается на достаточно высоком уровне. Так, для навигационных геодезических приемников она составляет, при измерении линий до 30 км, для плановых измерений $\pm 8,0$ мм + 1,0 мм/км, и $\pm 15,0$ мм + 1,0 мм/км для определения высотной составляющей положения определяемой точки. Конечно, предельные погрешности могут быть соблюдены только при условии нормальной обстановки наблюдений небосвода, то есть – отсутствие обструкций, затрудняющих прием сигналов от спутников и многолучевость. Таким образом, предельные среднеквадратические

ошибки, при наблюдении линий в режиме RTK будут соответствовать значениям, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика погрешностей измерений вектора методом кинематики реального времени

Длина линии, км	СКО измерения (вычисления) положения определяемой точки относительно базовой станции с исходными координатами в режиме RTK, мм		Среднеквадратические погрешности определения пунктов опорной сети, регламентированные приложением Г СП 47.13330.2012			
	Плановых координат	Высотной составляющей	Плановая	Высотная		
			СКП положения определяемого пункта относительно исходных пунктов, мм СКП взаимного положения определяемых пунктов, мм СКП в определении координат точек съемочной сети относительно пунктов опорной сети (для масштаба съемки 1:1 000), мм на застроенной территории / не застроенной территории	по допуску технического нивелирования $f_h = 50 \text{ мм}$ $L, \text{ км}$	По допуску нивелирования IV класса $f_h = 50 \text{ мм}$ $L, \text{ км}$	СКП определения отметок пунктов относительно исходных пунктов, мм для нивелирования IV класса для технического нивелирования
0,1	8	15	50	16	6	30
0,2	8	15		22	9	
0,5	9	16		35	14	
1	9	16		50	20	
5	13	20		112	45	
7,5	16	23		137	55	
10	18	25		158	63	
15	23	30		194	77	
20	28	35		224	89	
25	33	40		250	100	
30	38	45	100 / 150	274	110	50

В дополнение к этому следует отметить, что программное обеспечение современных полевых контроллеров способно разрешать неоднозначности, и с достаточной достоверностью, >99.9 % по заявлению производителя оборудования, предоставлять результаты как оценки точности, так и решений получения координат определяемых точек. Полевое программное обеспечение позволяет контролировать точность измерений в режиме реального времени, тем самым предоставляя возможность пользователю принимать решения о приемлемости результата измерений.

Как видно из табл. 1, точность определения плановых координат удовлетворяет требованиям приложения Г [3] при длине векторов до 20 км, а при создании съемочной геодезической сети и более 20 км.

Точность определения высотной составляющей, судя по невязкам в ходах, может быть принята для векторов с длинами от 1 км (для нивелирования IV, а именно с этой точностью необходимо определять высоты пунктов опорной сети, для дальнейшего развития высотной составляющей съемочной сети методом технического нивелирования). А учитывая СКП высотного положения определяемых пунктов можно сделать вывод о том, что целесообразно определять отметки пунктов в режиме кинематики реального времени на удалении от базовой станции от 1 до 15 км.

Сетевая RTK

Несмотря на то, что современная RTK предоставляет значительный запас точности для создания опорных сетей, могут возникнуть сомнения в достоверности полученных результатов. Эти сомнения в первую очередь связаны с недостатком избыточных данных, а проще говоря, в таком режиме работы мы получаем «висячие» вектора.

Эту задачу можно решить при помощи современного RTK – сетевой RTK. Данная технология подразумевает использование двух и более базовых станций, определяющих и транслирующих кор-

рекции. При этом появляется избыточность измерений. Таким образом, имея избыточность измерений и контроль положения определяемых пунктов в поле, можно сделать вывод о целесообразности применения сетевой RTK для создания опорных сетей. Для реализации данного подхода обязательными условиями являются присутствие в районе работ покрытия сети мобильной связи, а именно GPRS, и наличие сервера со специализированным программным обеспечением для работы с сетью базовых станций и трансляции коррекций ровером. В таком случае среднеквадратические погрешности определения координат и высот точек в режиме сетевой RTK (табл. 2) несколько меньше, чем при использовании монобазового режима, и представляют собой: для определения плановых координат $\pm 8,0 \text{ мм} + 0,5 \text{ мм/км}$, и $\pm 15,0 \text{ мм} + 0,5 \text{ мм/км}$ для определения высоты.

Таблица 2

Характеристика погрешностей определения координат и высот точки методом сетевой RTK

Длина линии, км	Плановых координат, мм	Высотной составляющей, мм
0,1	8	15
0,2	8	15
0,5	8	15
1	9	16
5	11	18
7,5	12	19
10	13	20
15	16	23
20	18	25
25	21	28
30	23	30

Подобием применения многобазового режима является использование двух и более базовых станций, передающих коррекции по радиоканалу. При использовании данного режима требуется переключение между работающими базами. Таким образом, используя по сути монобазовую RTK, мы получаем замкнутые фигуры, а соответственно избыточность измерений и контроль полученных данных. Пример построения подобной сети приведен на рис. 3.

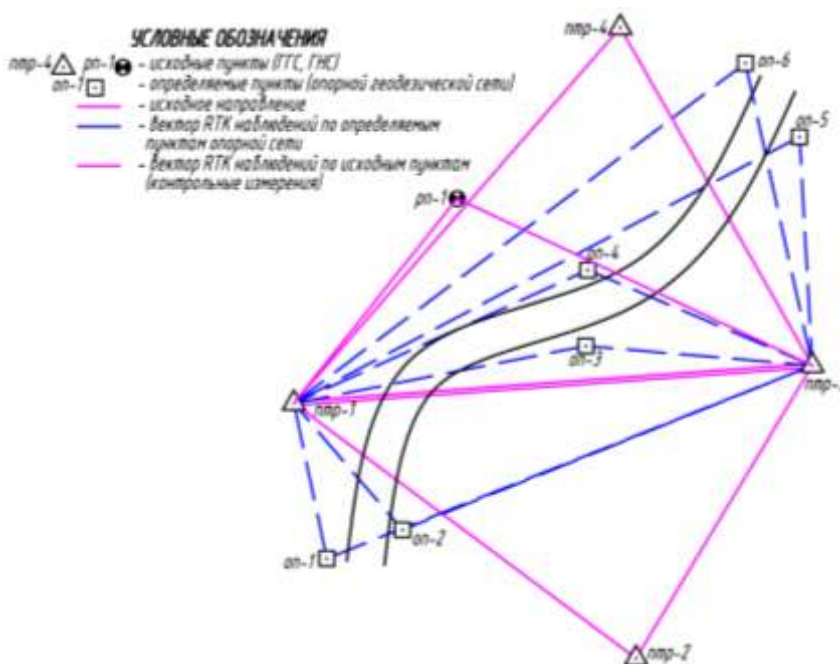


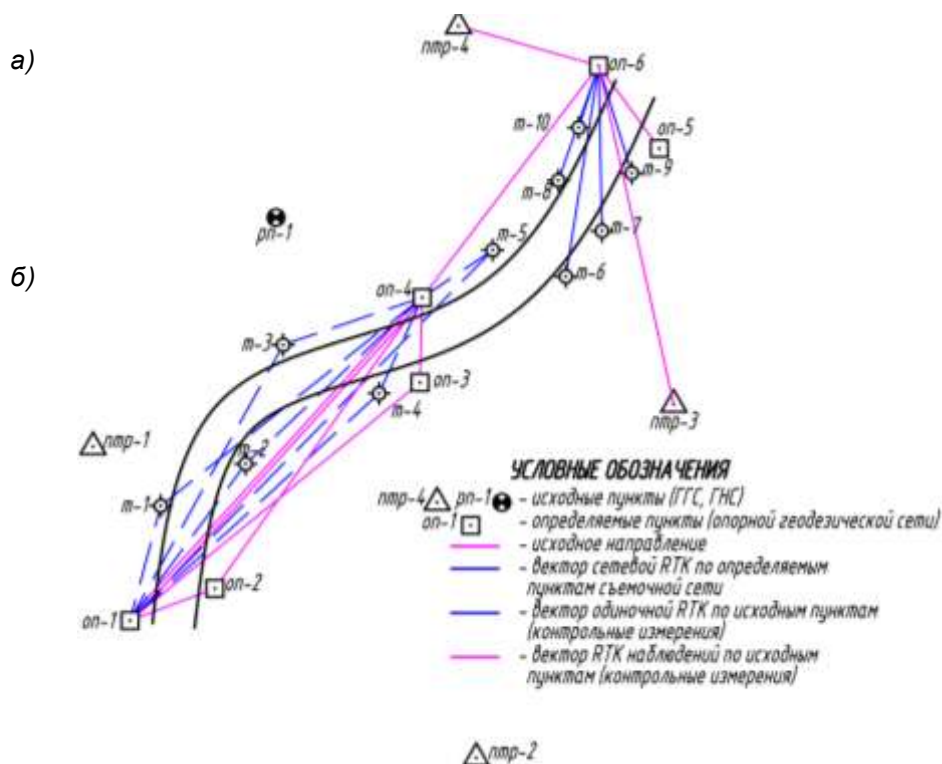
Рис. 3. Схема построения сети методом сетевой RTK

Использование этой технологии, по сравнению с быстростатическим режимом определений, несмотря на небольшую потерю точности, дает преимущество по времени, в значительной мере со-

кращая период производства полевых работ. Еще одним немаловажным фактором применения технологии RTK является контроль точности определений в поле, и в случае необходимости проведение повторных (контрольных) измерений.

Область применения кинематики реального времени

Спектр применения RTK достаточно широк: от создания планово-высотного обоснования (см. рис. 2 и 3), сгущения планово-высотного обоснования (рис. 4), до тахеометрических съемок, выносов в натуру и проведения работ по контролю (рис. 5).



**Рис. 4. Пример схемы сгущения планово-высотного обоснования методом RTK:
а – одиночного RTK; б – сетевого RTK**

Следующим этапом производства инженерно-топографических изысканий является выполнение съемок и выноса проекта на местность. Несмотря на то, что это абсолютно разные виды работ, технология их выполнения аналогична.

Применение технологии RTK для производства тахеометрических съемок и выноса проекта на местность имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными методами выполнения подобного рода работ.

Основные из них:

а) точность сопоставимая, а в ряде случаев и превосходящая классические методы тахеометрической съемки и выноса;

б) отсутствие необходимости проложения ходов съемочного обоснования, а следовательно, получение дополнительных ошибок, вызванных созданием планово-высотного обоснования;

в) значительно больший радиус действия по сравнению традиционной технологией, если дальность съемки тахеометром ограничивается 300-ми метрами, то съемка с использованием RTK предполагает удаление от базовой станции до десятка километров и более при контроле точности;

г) не требуется прямой видимости, как в случае использования тахеометра и отражателя;

д) отсутствие ошибок, вызванных точностью наведения на отражатель.

Графическое представление тахеометрического и спутникового методов дано на рис. 5.

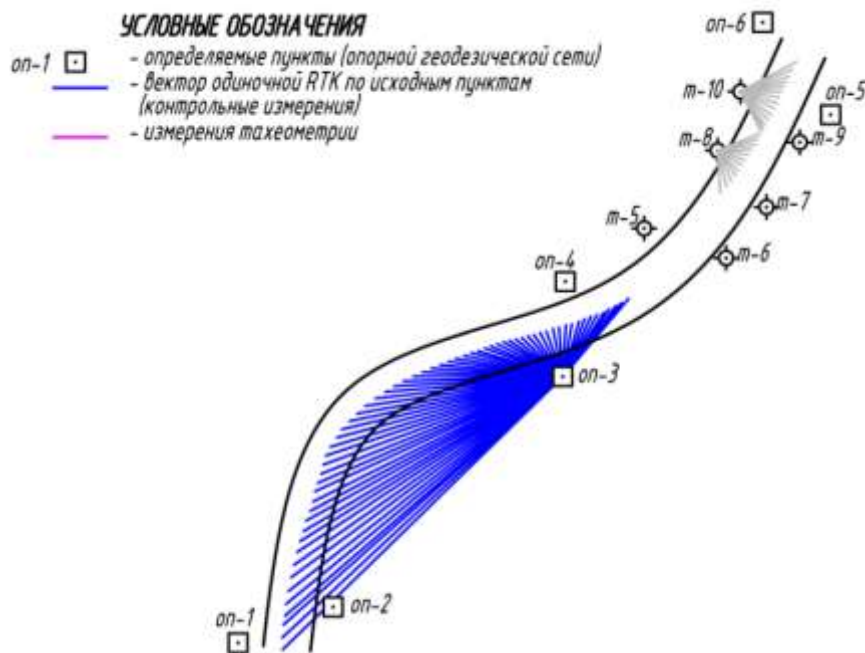


Рис. 5. Сравнение тахеометрического и спутникового методов для съемки и выноса проекта на местность

Калибровка района работ

Еще одним необходимым условием применения RTK-технологии является калибровка района работ. Процесс калибровки можно охарактеризовать, как приведение системы координат, в которой работает спутниковый приемник к системе координат выполняемого проекта, т. е., к местной системе координат. Этот процесс, в первую очередь, необходим для обеспечения единства измерений в рамках конкретного проекта. Особенно актуален этот процесс при выполнении работ на краях зон, которыми основаны государственная и региональная системы координат. Во вторую очередь выполнение калибровки района работ необходимо выполнять в целях удовлетворения требований [2], согласно которым в одной точке должно сходиться не менее трех векторов, для района работ должно быть не менее четырех пунктов с известными плановыми координатами и не менее пяти пунктов с известными нормальными высотами. Именно этим требованиям удовлетворяет процесс калибровки района работ, т.е. при калибровке используется максимальное количество пунктов с известными координатами и высотами, но не менее четырех в плане, и не менее пяти по высоте.

Таким образом, при выполненной калибровке проекта, при создании каждого дополнительного пункта (точки) плано-высотного обоснования, мы избавляемся от необходимости включать его в существующую сеть, что влечет за собой переуравнивание последней (а если координаты и высоты пунктов этой сети уже используются в производстве, то это крайне нежелательно), или привязывать его к пяти исходным пунктам, как того требует вышеуказанная инструкция, что является довольно трудоемким процессом, требующим временных ресурсов.

Данные калибровки должны быть применены на всех этапах работ – от изысканий до строительства и сдачи объекта в эксплуатацию.

Вариантов выполнения калибровки два. Первый – это калибровка района работ, выполненная с постобработкой, т. е. в поле выполняется необходимый набор измерений, как правило, в режиме быстрой статики, с участием исходных и определяемых пунктов, затем посредством программного обеспечения, для обработки спутниковых измерений, выполняется калибровка района работ, с последующей «загрузкой» откалиброванного проекта в полевые контроллеры.

Второй, и более эффективный вариант калибровки – это калибровка в реальном времени. Этот процесс предоставляет все те же преимущества и точность технологии RTK, описанные выше, и в дополнение к этому – контроль над процессом калибровки в реальном времени. Таким образом, при наборе геодезических пунктов с известными (ранее определенными) координатами и высотами можно наблюдать за сходимостью двух систем координат. И в случае, если координаты и/или высоты одного или нескольких пунктов «вылетают» из общего массива исходных данных (показывая более грубые отклонения, чем у основной массы пунктов), их можно отбраковать и дополнить сеть калибровки другими пунктами. Пример схемы калибровки показан на рис. 6.

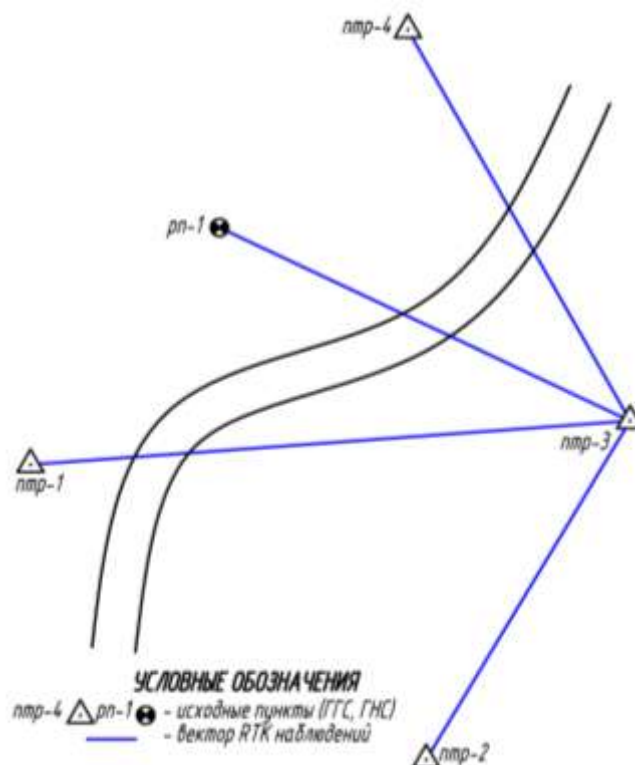


Рис. 6. Пример схемы калибровки района работ

Стоит отметить, что процесс калибровки должен выполняться на самом начальном этапе производства работ в режиме RTK.

Еще одним немаловажным фактором для сохранения полученной системы координат на стадии инженерных изысканий является применение полученной калибровки района работ на всех последующих стадиях: вынос трассы, детальная разбивка трассы, строительство, строительный контроль. На случай утраты результатов калибровки в отчетной технической документации необходимо предусматривать фиксацию примененной схемы калибровки для возможности восстановить ее в поле.

Таким образом, современные спутниковые навигационные приборы геодезического класса в совокупности с одиночной RTK, или с применением сетевой RTK способны решать широкий круг задач для строительства, реконструкции и капитального ремонта автомобильных дорог.

Применение спутниковой технологии для подготовки проектной документации

На данном этапе работ выше описанные технологии могут быть применены для создания опорной геодезической сети, которая будет выступать плановой и высотной основой для всех последующих видов топографо-геодезических работ. Уже на этой стадии, при применении RTK-режима измерений, следует выполнять калибровку района работ и сохранять ее оригинал для возможности использования при последующих работах.

Опорная геодезическая сеть должна создаваться в виде взаимосвязанного массива пунктов, исходя из требований заказчика к конкретному объекту. Их расположение должно обеспечивать безопасность производства работ, эффективное использование при применении спутниковой технологии (открытость небосвода, отсутствие обструкций, а также максимальному распространению радиосигнала, при использовании радиоканала для передачи поправок роверам, или устойчивую GSM/GPRS связь, при использовании этих стандартов для передачи данных). Также расположение пунктов опорной сети не должно исключать выполнение линейно-угловых измерений, при использовании традиционных методик топографо-геодезических работ.

В любом случае, количество пунктов опорной сети не должно быть менее пяти-шести для небольшого объекта, протяженностью, например, до пяти километров, и увеличиваться пропорционально длине изыскиваемого объекта. Опорная сеть в таком количестве, в первую очередь, необходима для выполнения калибровки района работ, но наряду с этим, и обеспечивает возможность проложения теодолитных ходов. Принципиально такое количество пунктов может обеспечить и большую про-

тяжеленность изыскиваемой дороги (например, до 20 км), но при условии монополюсного применения спутниковой технологии.

На следующем этапе, при необходимости, RTK-технология может быть применена для сгущения плано-высотной сети.

Основной продукцией топографо-геодезических изысканий для проектирования является топографический план, в виде цифровой модели рельефа и ситуации. При этом выполнение съемки, в плане содержания и состава получаемых планов практически ни чем не отличается от классической тахеометрической съемки, за исключением тех преимуществ, которые описаны выше. При этом удаление роверов от базовой станции практически не сказывается на получаемой точности съемочных пикетов, в рамках регламентируемой п. 5.1.1 [3], а именно 0,5 мм в масштабе плана для контуров и предметов местности с четкими очертаниями, 0,4 мм в масштабе плана для взаимного положения закоординированных точек местности, и 1/3, высоты сечения рельефа при съемке рельефа местности. Сокращенный расчет среднеквадратических погрешностей представлен в табл. 3.

Таблица 3

Предельные погрешности при съемке ситуации и рельефа.

Масштаб плана	Высота сечения рельефа горизонталями, м	Предельные ошибки положения съемочных точек, м		
		Планового положения		Высотного положения (1/3 высоты сечения рельефа)
		для контуров и предметов местности с четкими очертаниями (0,5 мм в масштабе плана)	для взаимного положения закоординированных точек местности (0,4 мм в масштабе плана)	
1:500	0,5	0,25	0,2	0,16
1:1 000	0,5	0,5	0,4	0,16
	1,0			0,33
1:2 000	0,5	1,0	0,8	0,16
	1,0			0,33

При необходимости, следующим шагом выполнения полевых работ может быть как вынос и закрепление оси проектируемой трассы на местность, так и ее детальная разбивка. При этом спутниковая технология реального времени предоставляет те же преимущества, что и при выполнении съемки.

Применение спутниковой технологии в период производства строительных работ

В период производства строительных работ спектр применения спутниковой геодезической технологии достаточно обширен. На этом этапе применение калибровки района работ становится наиболее актуальным. В первую очередь это связано с сохранением единого координатного пространства, заданного на стадии инженерно-геодезических изысканий.

Ее применение начинается с детальной разбивки трассы, выноса и закрепления основных осей сооружений. Этот процесс ни чем не отличается от выноса трассы на стадии изысканий. Наряду с этим, в период строительства возникает необходимость оперативного контроля и восстановления утраченных закреплений точек элементов трассы в связи с производством строительных работ. Применение RTK на этой стадии наиболее эффективно. Это связано с тем, что отпадает необходимость восстановления сгущения плано-высотного обоснования. Другими словами, при уничтожении в процессе работы техники закреплений точек элементов трассы, а также, точек сгущения плано-высотного обоснования, возникает необходимость проложения теодолитных ходов от пунктов опорной сети, а затем восстановление утраченных точек закреплений. При использовании же спутниковых приемников в режиме реального времени необходимости в сгущении обоснования не возникает, и можно сразу приступить к восстановлению закреплений и разбивки трассы.

С теми же преимуществами технология может быть применена для выполнения исполнительных съемок на соответствие проекту, оперативного контроля и итогового подсчета объемов земляных работ.

Еще одним немаловажным сектором применения спутниковой технологии является применение ее в строительной технике. На современном рынке строительных услуг уже становится не редким применение строительной техники, оснащенной приемниками спутниковых сигналов, работающими в режиме реального времени. Основная сфера применения этой техники это планировочные и уплотнительные работы. Такая техника, оснащенная бортовым компьютером с загруженными проектными решениями, с сопряженным с ним спутниковым приемником, способна минимизировать ошибки оператора и выходить, на заложенные в ее компьютер, проектные уровни. При использовании такой техники не требуется регулярное участие инженера-геодезиста или мастера для постоянного кон-

троля на соответствие проектным отметкам. Контроль может быть применен при завершении работы с очередным слоем грунта или по завершению планировочных работ на любом конкретном участке.

Еще одним сегментом строительного производства является строительный контроль и авторский надзор в части геодезических работ. Функции этого сегмента производства в целом схожи со всем комплексом инженерно-геодезических работ в строительном производстве при строительстве автомобильных дорог, что позволяет оперативно выполнять требуемые операции на больших площадях.

Заключение

Как видно, применение в проектировании и строительстве автомобильных дорог спутниковой навигационной технологии, в особенности в совокупности с технологией кинематики реального времени, охватывает практически все сегменты, в которых требуется участие инженера-геодезиста, обеспечивая требуемую точность, удобство и сокращает время проведения измерений.

Библиографический список

1. Trimble. Руководство пользователя. Спутниковый геодезический приемник Trimble R10. М., 2012. С. 77.
2. ГКИНП (ОНТА)-02-262-02. Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС и GPS. М., 2002. С. 55.
3. СП 47.13330.2012. Свод правил Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М., 2012. С. 111.