

## **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ ГНСС ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ КАДАСТРОВЫХ РАБОТ**

Е.А. Акулова, И.В. Назаров

*Аннотация:* При определении координат объектов недвижимости необходимо использовать методы, соответствующие Российскому законодательству в области кадастровых отношений. Исходя из рациональности геодезических определений, обеспечивающих требуемую точность, предпочтение отдается спутниковым методам определения координат. В статье затронуты вопросы оценки точности двух методов определения координат: геодезического и спутникового. Приведены формулы для расчета средних квадратических ошибок измерений при использовании геодезического метода. Рассмотрено с практической точки зрения применение спутниковых методов определения координат. Приведены результаты, полученные путем спутниковых измерений в режимах «быстрая статика» и «кинематика в реальном времени». Проведен сравнительный анализ полученных данных со значениями средних квадратических ошибок заявленных в паспорте прибора. Выявлена проблема использования встроенных радиомодемов в условиях города, а также проблемы связанные с применением дифференциальных базовых станций при производстве кадастровых работ.

*Ключевые слова:* координаты, ГНСС, геодезический метод, спутниковый метод, средние квадратические ошибки, дифференциальная базовая станция

Решение задач, связанных с позиционированием точек на земной поверхности подразумевает выполнение измерений, в дальнейшем речь пойдет об определении координат, как уникальных характеристик

положения точки на земной поверхности. Данная задача актуальна в различных областях хозяйственной деятельности, а также жизненных ситуациях, при которых необходимо определить свое местоположение. При решении той или иной задачи определение координат производится с различной точностью, в этой связи можно разделить методы измерений, обеспечивающие навигационную точность и геодезическую точность. Под навигационной точностью понимается точность порядка 5 м и более. Координаты с такой точностью определяются навигационными приборами, например портативными GPS навигаторами GARMIN различной модификации или GPS навигаторами, встроенными в мобильное устройство или установленное на транспорте. Для обеспечения геодезической точности потребуется оборудование, обеспечивающее точность от 2 м (точность определения контуров съемки 1:5000<sup>1</sup>) до единиц миллиметров в специальных высокоточных геодезических определениях.

В практике землеустроительных и кадастровых работ определение координат характерных точек границ объекта недвижимости необходимо выполнять с точностью, определенной приказом Минэкономразвития России № 518 от 17.08.2012<sup>2</sup>. Точность определения основных характеристик точек зависит от категории земель и имеет значения от 5 м для земель лесного и водного фондов и земель запаса до 0,1 м для земель населенных пунктов. В упомянутом приказе для обеспечения требуемой точности могут быть использованы различные методы, такие как геодезический (основанный на наземных способах определения координат,

---

<sup>1</sup> ГКИНП-02-033-082 Инструкция по топографической съемке в масштабе 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500, / М.: Недра, 1982. Утв. ГУГК 5 октября 1979 г. Вводится в действие с 1 января 1983 г. с поправками, утвержденными ГУГК 9 сентября 1982 г. (приказ № 436 п.). / Система ГАРАНТ: [Электронный ресурс] / – Режим доступа: <http://base.garant.ru/>

<sup>2</sup> О требованиях к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, а также контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке: Приказ Министерства экономического развития Российской Федерации (Минэкономразвития России) от 17 августа 2012 г. N 518 г. /г.Москва [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rg.ru/2013/01/16/trebovaniya-dok.html>.

таких как триангуляция, трилатерация, полигонометрия и засечки), спутниковый (основанный на методах, использующих для определения местоположения точек системы ГНСС), фотограмметрический (основанный на использовании фотопланов, полученных по результатам аэрофотосъемки и данных дистанционного зондирования Земли), картометрический метод (определения координат выполняются с использованием существующего картографического материала) и аналитический, при котором координаты точек вычисляются как функции параметров геометрически связанных элементов. Применение картометрического метода для определения координат точек описано в статье [3] и имеет ограничение в зависимости от того или иного объекта недвижимости.

Применение геодезического метода дает требуемую точность в зависимости от применяемых приборов и методик измерений. Для расчета точности определения координат применяется известная в математике и геодезии формула вычисления средней квадратической ошибки функции измеренных величин.

$$m_F^2 = \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 m_x^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 m_y^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2 m_z^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial u}\right)^2 m_u^2 \quad (1)$$

где  $m_F^2$  – средняя квадратическая ошибка функции независимых параметров;

$\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2, \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2, \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2, \left(\frac{\partial f}{\partial u}\right)^2$  – квадраты частных производных функции по каждому из параметров;

$m_x^2, m_y^2, m_z^2, m_u^2$  – средние квадратические ошибки независимых параметров.

В геодезических методах координаты точек границы объекта недвижимости определяются по данным геодезических измерений, как

правило, из решения прямой геодезической задачи. Согласно формуле 1 можно определить средние квадратические ошибки координат.

Формулы средних квадратических ошибок вычисления абсциссы и ординаты точки границы [2]:

$$\begin{aligned} m_x &= \sqrt{m_{x0}^2 + \cos^2 \alpha \cdot m_d^2 + d^2 \cdot \sin^2 \alpha \cdot m_\alpha^2}, \\ m_y &= \sqrt{m_{y0}^2 + \sin^2 \alpha \cdot m_d^2 + d^2 \cdot \cos^2 \alpha \cdot m_\alpha^2} \end{aligned} \quad (2)$$

где  $m_x^2$   $m_y^2$  – средние квадратические ошибки определения абсциссы и ординаты точки;

$m_{x0}^2, m_{y0}^2$  – средние квадратические ошибки определения исходной точки;

$m_d^2$  ,  $m_\alpha^2$  – средние квадратические ошибки определения горизонтального проложения и дирекционного угла соответственно;

$\alpha$  - определяемый дирекционный угол;

$d$  – горизонтальное проложение измеренной линии.

В свою очередь средние квадратические ошибки вычисления горизонтального проложения и дирекционного угла:

$$\begin{aligned} m_d &= \sqrt{\cos^2 v \cdot m_D^2 + D^2 \cdot \sin^2 v \cdot m_v^2}, \\ m_\alpha &= \sqrt{m_{\alpha0}^2 + m_\beta^2}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $m_d$  , – средняя квадратическая ошибка определения горизонтального проложения;

$m_D^2$  – средняя квадратическая ошибка определения расстояния;

$m_v^2$  – средняя квадратическая ошибка определения угла наклона;

$D$  – измеренное расстояние;

$v$  – угол наклона,

$m_\alpha$  – средняя квадратическая ошибка определения дирекционного угла;

$m_{\alpha 0}^2$  – средняя квадратическая ошибка определения исходного дирекционного угла;

$m_{\beta}^2$  – средняя квадратическая ошибка определения горизонтального угла.

Другими словами, для того, чтобы ошибки положения характерной точки границы объекта недвижимости соответствовали точности категории земель, необходимо подбирать методы геодезических определений, основываясь на применении формул 1, 2, 3. При этом необходимо учитывать геометрические особенности геодезических построений, точность геодезических измерений, которая в свою очередь зависит от факторов, влияющих на точность измерений.

Если в случае применения геодезического метода средние квадратические ошибки могут быть рассчитаны однозначно, согласно теории ошибок геодезических измерений, то спутниковые методы определения координат точек требуют дополнительных исследований в контексте оценки точности и оптимальности различных методов измерений.

Теория измерений и основные методы определения координат с использованием спутниковых геодезических приемников рассмотрены профессором Михелевым Д.Ш. [1]. Точность определения координат зависит от методов спутниковых определений. С точки зрения теории спутниковых определений существует два метода: абсолютный и относительный. Абсолютный метод обеспечивает навигационную точность и не применяется в практике кадастровых работ. Относительный метод позволяет определить положение спутникового приемника (ровера) относительно другого приемника (базового), установленного как правило на пункте с известными координатами. В практике спутниковых определений наиболее часто используются относительные режимы «статика», «быстрая статика» и «кинематика», позволяющие обеспечить

геодезическую точность измерений. При установлении на местности границ между субъектами Российской Федерации, границ муниципальных образований, населенных пунктов узловые точки таких границ, а также ближайшие к ним характерные точки границ закрепляются долговременными межевыми знаками и используются в качестве пунктов опорной межевой сети<sup>3</sup>. Координаты пунктов ОМС, главным образом, определяются в режиме «статика»<sup>4</sup>.

В случае проведения землеустройства по определению границы субъекта Российской Федерации, границы муниципальных образований, которые могут проходить по различным категориям земель узловые точки и ближайшие к ним необходимо определять в режиме «статика», а остальные точки в зависимости от удаления объекта землеустройства от исходных пунктов и категории земель на которой он расположен в режиме «быстрая статика».

Поскольку в относительном методе точность определения координат зависит от удаления приемника от базовой станции, особое внимание следует уделить оборудованию пользовательского сегмента ГНСС. Все приборы можно разделить по типу используемой ГНСС на односистемные (GPS, ГЛОНАСС, Galileo) и многосистемные (GPS/ГЛОНАСС, GPS/ГЛОНАСС/ Galileo); по типу принимаемых сигналов – кодовые и фазовые; по количеству частот – одночастотные ( частота L1), двухчастотные (частоты L1 и L2) и многочастотные ( L1, L2, L5). Максимальное расстояние, которое может быть между приемниками, составляет 15-20 км для одночастотных и до 200 км (с использованием определенных алгоритмов обработки) для двухчастотных приемников.

---

<sup>3</sup> Постановление Правительства Российской Федерации от 20 августа 2009 г. №688 «Об утверждении Правил установления на местности границ объектов землеустройства» [Электронный ресурс] // Консультант плюс [сайт].

<sup>4</sup> Приказ Росземкадастра от 15 апреля 2002 г. №П/261 «Об утверждении «Основных положений об опорной межевой сети»» [Электронный ресурс] // Консультант плюс [сайт].

Рассмотрим с практической точки зрения применение спутниковых геодезических приемников для проведения землеустроительных и кадастровых работ на примере двухчастотного приемника Sokkia GRX2. Согласно технических характеристик приведенных в паспорте прибора длина базовой линии не должна превышать 32 км в дневное время и 50 км в утренние и вечерние часы. Точность определения координат, согласно заявленным в паспорте прибора характеристикам приведена в таблице 1.

Таблица 1 – Точность определения координат двухчастотного приемника Sokkia GRX2.

Режим съемки	Точность определения	
	в плане	по высоте
Статика	3мм+0,5ppm	4мм+1ppm
Быстрая статика	3мм+0,5ppm	5мм+0,5ppm
Кинематика и кинематика в реальном времени	10мм+1ppm	15мм+1ppm

В случае применения режима «статика» оба эти приемника должны принимать сигналы одних и тех же спутников, таких спутников должно быть не менее 4-х.

В зависимости от расстояния между приемниками, а также от условий наблюдений, при наличии не менее 6 общих спутников для базового и роверного приемников время наблюдений должно составлять не менее 10 минут.

Вычисление координат роверного приемника производится в специализированных программах постобработки в которых выполняется и оценка точности положения точки.

Режим кинематики в режиме реального времени (РТК) подразумевает получение окончательных координат определяемых точек непосредственно в поле, поскольку оборудование самостоятельно производит обработку получаемых спутниковых данных, а также перевод в местную систему координат.

В РТК расстояние между базовым и роверным приемником при использовании радиомодемов штатной мощности - 1 Вт может достигать в среднем 5 км (максимум 10 км). А при использовании GSM-модемов - при передаче поправок посредством соединения по протоколу CSD или интернету - до 50 км и более.

По результатам измерений и постобработки данных в режимах «быстрая статика» и «кинематика в реальном времени» или РТК (Real Time Kinematic) были получены значения средних квадратических ошибок в зависимости от удаления от базовой станции. С учетом данных таблицы 1 выполнены расчеты теоретических значений и сравнение их с полученными результатами. Расчеты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение результатов в режимах «быстрая статика» и «РТК».

Длина базовой линии, км	Теоретическое значение СКО, м		Практическое значение СКО, м		Отклонение практического значения от теоретического, м	
	в плане	по высоте	в плане	по высоте	в плане	по высоте
«быстрая статика»						
0,6	0,003	0,005	0,001	0,001	-0,002	-0,004
1	0,004	0,006	0,002	0,004	-0,002	-0,002
3,5	0,005	0,007	0,005	0,008	0,000	0,001
4,5	0,005	0,007	0,007	0,012	0,002	0,005
6,2	0,006	0,008	0,010	0,016	0,004	0,008
6,4	0,006	0,008	0,012	0,018	0,006	0,010
«РТК»						
1	0,011	0,016	0,012	0,017	0,001	0,001
2	0,012	0,017	0,014	0,026	0,002	0,009
22	0,032	0,037	0,005	0,009	-0,027	-0,028

При использовании режима «быстрая статика» полученные средние квадратические ошибки близки к значениям, заявленным в паспорте прибора, поскольку приемники получают необходимые данные для своего позиционирования независимо друг от друга и обработка измерений производится в специальной программе на этапе постобработки векторов.

При использовании режима «кинематика в режиме реального времени» (RTK) определение положения ровера выполняется непосредственно в процессе измерений. В этом случае точность фиксированного решения зависит от способа передачи дифференциальных поправок от базовой станции к роверу и от удаления приемников. Стоит отметить, что съемка на удалении 22 км производилась от дифференциальной базовой станции посредством соединения через Интернет, а в двух других случаях соединение между базовым приемником и ровером осуществлялось по встроенному радиомодему. В настоящее время дифференциальные базовые станции пользуются большой популярностью и также создаются сети таких станций. Все это связано с тем, что для работы от станции достаточно всего одного приемника.

Как показывает анализ в режиме «быстрая статика» при увеличении длины базовой линии расхождение значений средних квадратических ошибок увеличивается незначительно. Анализ режима «RTK» показывает, что в случае работы от дифференциальной базовой станции при передаче данных через Интернет точность получаемых координат выше, чем при работе от базового приемника по радиосигналу, даже не смотря на значительные различия в расстояниях. Распространение УКВ в крупных городах с плотной застройкой, связано с определенными трудностями при их приеме ввиду с возникновением эффекта экранирования [4]. В результате этого в точку приема могут приходить несколько сигналов, один прямой (основной) и один или несколько отраженных. Отраженные

сигналы придут в точку приема с разными задержками и с разными амплитудами. Суммарный сигнал в данном случае будет уже амплитудно-частотно-модулированным. Это приводит иногда к недопустимо большим искажениям [4]. В результате этих искажений точность определения местоположения ровера относительно базового приемника снижается при увеличении расстояния (см. табл. 2).

Соединение ровера с дифференциальной базовой станцией может осуществляться посредством GSM-модема или по сети Wi-Fi. В данном случае сигнал не искажается. Однако, стоит отметить следующее: при работе от базовой станции на расстоянии 48 км определялись координаты пункта опорной межевой сети и полученный результат разошелся со сведениями Росреестра более чем на 0,5 м. Сказать с уверенностью в чем причина нельзя. Возможно ошибка в сведениях Росреестра, возможно ошибка при калибровке базовой станции относительно пунктов государственной геодезической сети. Проблема достаточно серьезная и требует тщательного анализа и изучения.

Согласно Приказа Минэкономразвития России № 518, средняя квадратическая погрешность местоположения характерной точки определяется по следующей формуле:

$$M_t = \sqrt{m_0^2 + m_i^2} \quad , \quad (4)$$

где  $M_t$  - средняя квадратическая погрешность местоположения характерной точки относительно ближайшего пункта опорной межевой сети;

$m_0$  - средняя квадратическая погрешность местоположения точки съемочного обоснования относительно ближайшего пункта опорной межевой сети;

$m_i$  - средняя квадратическая погрешность местоположения характерной точки относительно точки съемочного обоснования, с которой производилось ее определение.

Проблема применения дифференциальных базовых станций для целей кадастровых работ сопряжена с тем, что базовая станция в этом случае не является пунктом опорной межевой сети и зачастую неизвестна точность определения положения этой дифференциальной станции, поскольку пользователю неизвестно какие пункты были использованы при калибровке. Кроме того, в крупных городах функционирует несколько дифференциальных станций, которые не всегда объединены в единую сеть, а функционируют как отдельные пункты, координаты которых определены в системе WGS-84. Определение координат роверов относительно этих станций выполняется с очень высокой точностью в системе, тогда как требуемая точность определения положения характерных точек границ объектов недвижимости должна быть определена в соответствии с формулой 4 в региональной системе координат. В этой связи говорить о точности применения спутниковых методов в практике кадастровых работ невозможно без решения проблемы обоснования точности дифференциальных базовых станций в системе координат, принятой для целей ведения кадастра. Попытки решения этой проблемы реализованы в изменениях, принятых в Приказе Минэкономразвития России от 08.12.2015 N 921 "Об утверждении формы и состава сведений межевого плана, требований к его подготовке" (Зарегистрировано в Минюсте России 20.01.2016 N 40651). В частности в реквизите "2" раздела "Исходные данные" должны быть указаны сведения не менее чем о трех пунктах государственной геодезической сети или опорной межевой сети, использованных при выполнении кадастровых работ<sup>5</sup>. В реквизит "1"

---

<sup>5</sup> Приказ Минэкономразвития России от 08.12.2015 N 921 "Об утверждении формы и состава сведений межевого плана, требований к его подготовке" (Зарегистрировано в Минюсте России 20.01.2016 N 40651). [Электронный ресурс] // Консультант плюс [сайт].

раздела "Исходные данные" в отношении использованных при подготовке межевого плана сведений о геодезической основе для пунктов государственной геодезической сети и пунктов опорной межевой сети указываются наименование и реквизиты документа о предоставлении данных, находящихся в федеральном картографо-геодезическом фонде. Согласно этим изменениям включать дифференциальную базовую станцию в список исходных пунктов при подготовке межевого плана нельзя, если сведения о ней отсутствуют в картографо-геодезическом фонде Росреестра.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ключин Е.Б., Киселев М.И., Михелев Д.Ш., Фельдман В.Д. Инженерная геодезия. 4-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 480 с.
2. Влияние ошибок исходных данных на точность вычисления площадей / Е. А. Акулова, С. А. Бедрина // Изв. вузов. Горный журнал. – 2012. – № 5, с. 37–44.40.
3. Акулова Е.А. Применение картометрического метода при выполнении кадастровых работ /Е.А. Акулова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр., 8–18 апреля 2014 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока. Экономика природопользования, земле-устройство, лесоустройство, управление недвижимостью» : сб. материалов в 2 т. Т. 2. – Новосибирск : СГГА, 2014. – 28-34 с.
4. Доценко Е. УКВ в большом городе. // Журнал «Stereo&Video» №9, 1997 г. с. 52-55