



3. ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ЛЕСНАЯ ТАКСАЦИЯ. ЭКОНОМИКА ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 528.063.3, 630*614

ПРАКТИЧЕСКАЯ ТОЧНОСТЬ RTK GPS-ИЗМЕРЕНИЙ ПОД ПОЛОГОМ ЛЕСА

Бусел К.Н., Денисенко А.В.

Белорусский государственный технологический университет

(г. Минск, Беларусь),

НПОДО «БелИнвестЛес» (г. Минск, Беларусь)

Рассматривается проблема абсолютной точности GPS-позиционирования в режиме RTK приемником Trimble R8 GNSS под пологом леса. Средняя абсолютная точность, полученная авторами работы, равняется 1,3 м и 2,7 м соответственно при использовании систем GPS и GPS+ГЛОНАСС. СКО оценки площади при RTK GPS-съемке лежит в пределах от 9,7% до 0,1% при изменении площади от 0,5 до 5 га, а расстояний от 10,5% до 0,2% при изменении длины линий от 50 до 300 м и зависит от продолжительности съемки и количества задействованных спутниковых систем навигации.

ВВЕДЕНИЕ

Руководства пользователя и рекламные проспекты производителей GPS-приемников содержат данные о точности съемки при условии отсутствия помех радиосигналам от спутников, в то время как большинство сфер применения предполагает измерение в неблагоприятных обстоятельствах, например под пологом леса либо в холмистой местности. Согласно исследованиям авторов [1–7], древесный полог отрицательно сказывается на точности GPS-

позиционирования из-за ослабления радиосигнала. Исследования также показывают, что PDOP (Position Dilution of Precision – фактор падения позиционной точности), являющийся наиболее признанным показателем геометрического расположения спутников на небесной сфере, а, следовательно, и ошибки GPS-позиционирования, больше под пологом древостоя. Во многих зарубежных исследованиях показана эффективность автономной и дифференциальной GPS-съемки в лесных условиях. По исследованиям Йошимура [2], абсолютная точность в плане автономных GPS-измерений в лесу варьирует в пределах 3,3–6,2 м. Холдэн [6] оценил абсолютную и внутреннюю точность позиционирования под пологом древостоя и рассмотрел взаимосвязь между точностью съемки, PDOP и сомкнутостью полога. Это исследование также показало, что внутренняя и абсолютная точность DGPS-съемки увеличивается со снижением сомкнутости полога [8]. Среднеквадратическое отклонение абсолютной плановой точности DGPS-позиционирования в лесных условиях по исследованиям данного автора лежит в пределах 0,5–9,7 м. Было показано, что точность значительно увеличивается при увеличении числа наблюдений на точке [1, 3, 5]. По данным разных исследователей [8, 9], приблизительно от 30 до 600 статически полученных измерений необходимо для получения надежной точности. Все исследования показывают большую вариацию точности в зависимости от типа используемой аппаратуры [10, 11]. Тачики [10] оценил эффективность позиционирования в динамическом режиме, сравнив абсолютные и внутренние ошибки автономного и дифференциального позиционирования двух GPS-приемников навигационного и топографического класса. Наэссет [7] рассматривал влияние таксационных показателей древостоя на внутреннюю и абсолютную ошибку GPS-съемки и оценил факторы, влияющие на нее с использованием множественного регрессионного анализа. По его данным, при совместном использовании кодовых и фазовых наблюдений средняя ошибка позиционирования под пологом леса составила 0,98–2,44 м, а средняя точность GPS+ГЛОНАСС позиционирования комбинированным методом лежала в пределах 0,09–2,85 м [12]. Исследованием эффективности относительного позиционирования занимались Хасегава и Йошимура [13], по исследованиям которых не удалось получить фиксированных решений под пологом леса постобработкой кинематических измерений, при использовании как одночастотных, так и двухчастотных приемников. Однако, новые методы разрешения фазовой неопределенности, такие как RTK (real time kinematic – кинематика в реальном масштабе времени) и OTF (on the fly – на лету), используя обе частоты L1 и L2, позволяют быстро разрешать неопределенности даже в движении. Турецкие исследователи [14] сравнили разброс координат навигатора Garmin 12XL и приемника Leica SR530, функционировавшего в режиме RTK. Средний разброс составляет 5,24 м и 9,34 м, соответственно, в режиме RTK и для приемника Garmin.

В данном исследовании представлены результаты полевых опытов для определения плановой точности GPS-позиционирования в режиме RTK в лесных условиях, рассчитана среднеквадратическая ошибка (СКО, %) вычисления расстояния в плане и площади.

Опыты проводились на объекте, созданном для определения точности GPS-позиционирования в Центральном лесничестве Негорельского учебно-опытного лесхоза. Координаты вершин опытного полигона были определены с ошибкой около 1 см.

Получение и обработка данных спутникового позиционирования. GPS-съемка производилась приемником Trimble R8 GNSS, который относится к приемникам геодезического класса. Паспортная точность прибора представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики приемника Trimble R8 GNSS

Приемник	Точность в плане		
	Дифференциальная точность WAAS/EGNOS	Кинематика	Статика и быстрая статика
Trimble GNSS R8	< 5 м (3 СКО)	±10 мм + 1мм/км	±5 мм + 0,5мм/км

Приемник Trimble имеет встроенную систему подавления многолучевости радиосигнала, а также технологию, позволяющую компенсировать прерывистые или слабые сигналы с RTK-поправками, и таким образом наилучшим образом отвечает требованиям съемки в сложных условиях, например с ограниченной видимостью неба или под кронами деревьев.

Планирования эксперимента с целью определения наиболее благоприятного времени суток для съемки не производилось. GPS-съемка была выполнена в режиме RTK. Продолжительность съемки подвижным приемником на точке составляла 1 и 3 мин. Позиционирование велось в двух вариантах: с использованием системы GPS NAVSTAR, а также при совместном использовании GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС.

Абсолютная точность в плане. Для определения ошибок позиционирования была рассчитана абсолютная плановая точность. В данном исследовании под абсолютной точностью понимается отклонение выборочного среднего полученных координат от истинного положения. Абсолютная плановая ошибка вычисляется исходя из соотношения 1.

$$\sigma_{H_abc} = \sqrt{(\bar{x} - x_{ист})^2 + (\bar{y} - y_{ист})^2}, \quad (1)$$

где σ_{H_abc} – абсолютная точность в плане, м; \bar{x}, \bar{y} – среднее значение координат x, y , м; $x_{ист}, y_{ист}$ – точное значение координат x, y (полученные по результатам тахеометрии), м.

По координатам вершин полигона, полученных в результате спутниковой съемки, рассчитаны расстояния и площади участков различной формы и сравнены с теоретическим значением.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ошибки позиционирования. Ошибка определения расстояния и площади зависит от ошибки позиционирования [10]. Абсолютная точность в плане GPS-съемки под пологом насаждения представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Абсолютная точность в плане GPS-позиционирования в режиме RTK под пологом леса, м

Продолжительность съемки	GPS NAVSTAR			GPS+ГЛОНАСС		
	размах	средняя	СКО	размах	средняя	СКО
1 мин	0,2–3,0	1,4	0,9	0,4–8,1	3,0	2,4
3 мин	0,1–2,7	1,2	0,9	1,0–5,5	2,4	1,5

Как видно из табл. 2, абсолютная плановая ошибка GPS-съемки лежит в пределах 0,1–3,0 м, в среднем около 1,3 м в зависимости от времени съемки. В то время как абсолютная горизонтальная ошибка GPS-ГЛОНАСС позиционирования варьирует в пределах 0,4–8,1 м. В среднем абсолютная плановая точность позиционирования с использованием сигналов обеих систем составляет 2,7 м. С увеличением времени наблюдения на точке плановая ошибка съемки несколько уменьшается. Данные табл. 2 свидетельствуют, что точность GPS-позиционирования несколько выше, чем при совместном использовании навигационных систем GPS и ГЛОНАСС, что является результатом отличительных особенностей архитектуры российской навигационной системы. Ошибки позиционирования являются результатом ослабления либо прерывания спутникового радиосигнала при его прохождении через полог леса, а также в связи с возникновением эффекта многолучевости из-за многократного отражения радиосигнала различными объектами, например стволами деревьев.

Ошибка определения расстояний в плане при GPS-съемке. Среднеквадратическая ошибка определения расстояний между точками составляет 1,4 м и 3,7 м при использовании систем GPS и GPS+ГЛОНАСС, соответственно, таблица 3.

Таблица 3 – Ошибка определения расстояний в плане в режиме RTK под пологом леса, м

Продолжительность съемки	GPS NAVSTAR			GPS+ГЛОНАСС		
	размах	средняя	СКО	размах	средняя	СКО
1 мин	–5,0–3,0	–1,0	1,5	–7,8–8,2	–0,8	3,7
3 мин	–2,4–4,5	0,5	1,4	–8,8–6,7	–0,8	2,8

Среднеквадратическое отклонение ошибки определения длины сторон при GPS-съемке составляет около 1,5 м, а при съемке с использованием обеих систем навигации от 2,8 м до 3,7 м в зависимости от

продолжительности позиционирования. Средняя ошибка определения расстояния, по нашему мнению, при увеличении числа наблюдений будет стремиться к нулю, поэтому целесообразно ее оценивать в относительных единицах с использованием СКО, рассчитываемого по нижеследующим формулам [15]:

$$СКО = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}}, \quad (2)$$

$$P_i = \frac{L_i - L_{true}}{L_{true}} \times 100\%, \quad (3)$$

где P_i и \bar{P} – относительное отклонение расстояния в плане и среднее относительное отклонение расстояний, %; n – количество наблюдений; L_i и L_{true} – расстояние на плоскости по данным спутникового позиционирования и тахеометрической съемки, соответственно, м².

Зависимость СКО относительной ошибки оценки расстояний при GPS-позиционировании в режиме RTK представлена на рисунке 1.

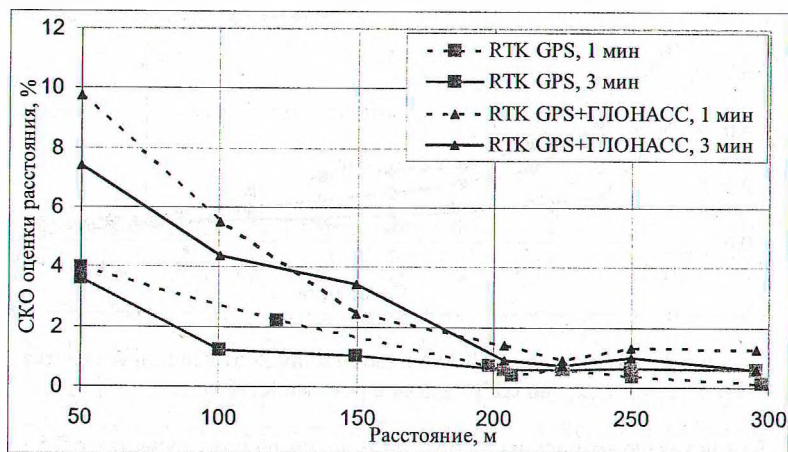


Рисунок 1 – Зависимость СКО оценки расстояний при GPS-съемке в режиме RTK

Как показано на рисунке 1, при увеличении расстояний между точками от 50 м до 300 м, СКО относительной ошибки снижается с 9,7% до 0,1%. Расстояния были определены наиболее точно при съемке с использованием системы навигации GPS NAVSTAR в течение 3 мин на одной точке. Графики на рисунке 1 отражают тот факт, что абсолютная ошибка определения

расстояния не зависит от длины определяемой линии, в отличие от измерений классическими геодезическими приборами.

Ошибка определения площади при GPS-съёмке. Ошибки определения площади оценили с использованием среднеквадратического отклонения (СКО), рассчитываемого по формулам 2 и 4 [15]:

$$P_i = \frac{S_i - S_{true}}{S_{true}} \times 100\%, \quad (4)$$

где P_i – относительное отклонение площади участка, %; S_i и S_{true} – площадь участка по данным спутникового позиционирования и тахеометрической съёмки, соответственно, м².

Зависимость СКО относительной ошибки площади участка от его величины при GPS-позиционировании в режиме RTK представлена на рисунке 2.

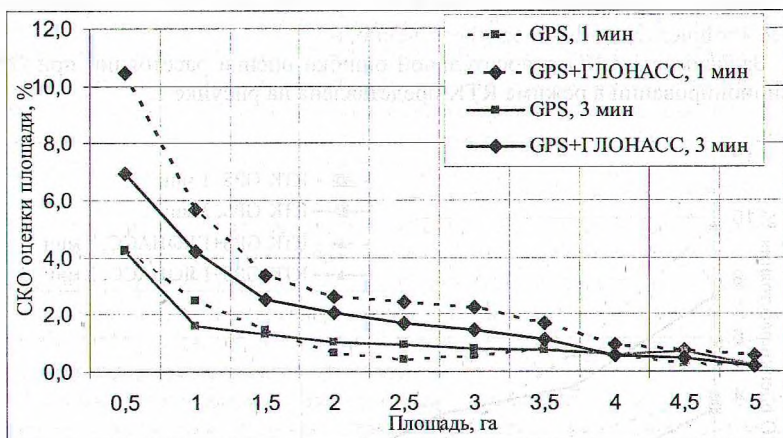


Рисунок 2 – Зависимость СКО оценки площади от величины участка при GPS-съёмке в режиме RTK

Как показано на рисунке 2, при увеличении площади участка с 0,5 га до 5 га, СКО определения площади снижается с 10,5% до 0,2% в зависимости от продолжительности съёмки на одной точке и использованных систем спутниковой навигации. Наиболее точно площадь была определена при использовании американской системы спутниковой навигации GPS при длительности наблюдений на точке 3 мин. Наименее точная оценка площади была получена при совместном использовании американской и российской систем спутниковой навигации при длительности наблюдений на точке 1 мин.

ВЫВОДЫ

1) Полученная средняя абсолютная плановая ошибка GPS-измерений в режиме RTK составляет 1,3 м и 2,7 м, соответственно, при приеме сигналов от систем GPS NAVSTAR и GPS+ГЛОНАСС, и приблизительно равна точности позиционирования в режимах FastStatic (1,4 м против 1,3 м) и PPK (1,8 м против 1,3 м [16]).

2) Среднеквадратическая ошибка определения расстояний между точками составляет 1,4 м и 3,7 м соответственно, при использовании систем GPS и GPS+ГЛОНАСС, что сопоставимо с СКО определения расстояний в режимах FastStatic (1,6 м) и PPK (2,3 м).

3) Ошибка оценки площади при GPS-измерениях в режиме RTK составляет 0,2–4,3% и 0,2–10,5%, соответственно, при использовании систем GPS и GPS+ГЛОНАСС для участков площадью от 5 до 0,5 га, соответственно, и несколько отличаются от таковых, полученных в режимах FastStatic (0,4–8,1%) и PPK (0,6–3,9%).

5) Передача поправок с помощью GPRS по сравнению с традиционным радиоканалом на основе УКВ радиомодемов предоставляет следующие преимущества: меньшая стоимость комплекта оборудования; нет необходимости в прямой радиовидимости между мобильными телефонами полевого и базового комплектов оборудования.

6) Для успешной работы в режиме RTK, необходимо чтобы все приемники одновременно и непрерывно отслеживали сигналы минимум от пяти общих спутников по двум частотам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Piedallu, C. Effects of forest environment and survey protocol on GPS accuracy / C. Piedallu, J. Gegout. // Photogramm. Eng. Rem. Sens. – 2005 – Vol. 9. – P. 1071–1078.

2. Yoshimura, T. Comparing the precision and accuracy of GPS positioning in forested areas / T. Yoshimura, H. Hasegawa // J. For. Res. – 2003 – Vol. 8. – P. 147–152.

3. Deckert, C. Forest canopy, terrain, and distance effects on global positioning system point accuracy / C. Deckert, P. V. Bolstad // Photogramm. Eng. Rem. Sens. – 1996 – Vol. 3. – P. 317–321.

4. Liu, C.J. Using differential GPS for forest traverse surveys / C. J. Liu, R. Brantigan // Can. J. For. Res. – 1995 – Vol. 11. – P. 1795–1805.

5. Naesset, E. Assessing point accuracy of DGPS under forest canopy before data acquisition, in the field and after postprocessing / E. Naesset, T. Jonmeister // Scand. J. Forest. Res. – 2002 – Vol. 4. – P. 351–358.

6. Holden, N.M. A method for relating GPS performance to forest canopy cover / N. M. Holden [et al.] // Int. J. For. Eng. – 2000 – Vol. 2. – P. 51–56.

7. Naesset, E. Point accuracy of combined pseudorange and carrier phase differential GPS under forest canopy / E. Naesset // Can. J. For. Res. – 1999. – Vol. 29. – P. 547–553.

8. Sigrist, P. Impact of forest canopy on quality and accuracy of GPS measurements / P. Sigrist, P. Coppin, M. Hermy // Int. J. Rem. Sens. – 1999 – Vol. 18. – P. 3595–3610.

9. Sawaguchi, I. Positioning precision and sampling number of DGPS under forest canopies / I. Sawaguchi [et al.] // J. For. Res. – 2003 – Vol. 8. – P. 133–137.

10. Tachiki, Y. Effects of polyline simplification of dynamic GPS data under forest canopy on area and perimeter estimations / Y. Tachiki [et al.] // J. For. Res. – 2005. – Vol. 10. – P. 419–427.

11. Wing, M.G. Consumer-grade Global Positioning System (GPS) accuracy and reliability / M.G. Wing, A. Eklund, L. D. Kellogg // J. For. – 2005. – Vol. 4. – P. 169–173.

12. Naesset, E. Contributions of Differential GPS and GLONASS Observations to Point Accuracy under Forest Canopies / E. Naesset [et al.] // Photogram. Eng. Rem. Sens. – 2000 – Vol. 66 (4) – P. 403–407.

13. Hasegawa, H. Application of dual-frequency GPS receivers for static surveying under tree canopies / H. Hasegawa, T. Yoshimura // J. For. Res. – 2003. – Vol. 8. – P. 103–110.

14. Zengin, H. Comparing the Performances of Real-Time Kinematic GPS and a Handheld GPS Receiver under Forest Cover / H. Zengin, A. Yeşil // Turk. J. Agric. For. – 2006 – Vol. 30. – P. 101–110.

15. Инженерная геодезия: учеб. пособие для вузов / Е.Б. Ключин [и др.]; под общ. ред. Д.Ш. Михелева. – 4-е изд. – М.: Академия, 2004. – 480 с.

16. Бусел, К.Н. Практическая точность относительных и автономных GPS-измерений под пологом древостоя / К.Н. Бусел, А.В. Денисенко // Проблемы лесоведения и лесоводства: Сб. науч. трудов ИЛ НАН Беларуси. – Вып. 69. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2009. – С. 380–390.

PRACTICAL ACCURACY OF RTK GPS MEASUREMENT UNDER FOREST CANOPY

Busel K. N., Denisenko A. V.

In this article, the problem of the accuracy of RTK GPS measurement by receiver Trimble R8 GNSS under forest canopy is considered. Mean accuracy of GPS and GPS+GLONASS positioning was 1,3 meters and 2,7 meters respectively. Standard deviation of relative area error estimate decreased from 9,7% to 0,1% with the increase of area from 0,5 to 5 hectare. Standard deviation of relative length error estimate decreased from 10,5% to 0,2% with the increase of distance from 50 to 300 meters depending on duration of GPS observation and global positioning systems used.

Статья поступила в редколлегию 02.04.2010 г.