

ЭРФУРТ В. С., ШПАК Д. Д., МАНУХОВ В. Ф.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ
ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ**

Аннотация. Статья посвящена использованию глобальных систем позиционирования при ведении инженерно-геодезических изысканий. Основываясь на полевых геодезических измерениях, произведена оценка точности GPS-определений векторов с исходных пунктов ОМС на определяемые точки опорной сети (репера). Создан инженерно-топографический план масштаба 1:500.

Ключевые слова: инженерно-геодезические изыскания, глобальные навигационные системы позиционирования, электронный тахеометр, программное обеспечение CREDO.

ERFURT V. S., SHPAK D. D., MANUKHOV V. F.

GLOBAL POSITIONING SYSTEMS FOR ENGINEERING AND GEODETIC SURVEYS

Abstract. The article is devoted to the use of global positioning systems in conducting engineering and geodetic surveys. Based on field geodetic measurements, the accuracy of GPS-definitions of vectors from the starting points of the OMS to the determined points of the reference network (benchmark) was estimated, an engineering-topographic plan of a scale of 1:500 was created.

Keywords: engineering and geodetic surveys, global navigation positioning systems, electronic total station, CREDO software.

В настоящее время все чаще для проведения инженерно-геодезических изысканий используются технологии спутникового позиционирования с использованием космических систем GPS и ГЛОНАСС. В процессе прохождения производственной практики с использование данных систем была поставлена задача по определению координат и высот на поверхности Земли с повышенной точностью. Системы позиционирования позволяют определить параметры перехода от общеземной системы координат WGS-84 к государственным или местным (локальным) системам координат.

В рамках прохождения производственной практики была получена кадастровая выписка из Росреестра, в которой содержатся сведения о координатах и высотах пунктов опорных межевых сетей в СК-13 на земельный участок с кадастровым номером 13:10:0101033:87, расположенный в Ичалковском районе Республики Мордовия (см. таблицу 1).

Таблица 1

Наименование пунктов ОМС	Координаты, м		Отметка, м
	X	Y	H
Кергуды 53	450 817,7100	1 291 688,7990	107,094
Кергуды 54	450 833,4900	1 291 670,9660	106,589
Кемля 55	448 630,9220	1 295 868,3790	110,219
Кемля 56	448 551.2460	1 296 080,2250	107,497
Кемля 93	448 836,8670	1 295 465,3840	0,000
Кемля 94	449 049,4280	1 294 960,3270	0,000
Кемля 95	449 385,0240	1 294 404,8820	0,000
Кемля 96	449 626,6490	1 294 046,0230	0,000

В ходе полевого обследования исходных пунктов опорной межевой сети (ОМС) была произведена оценка их пригодности к использованию (см. таблицу 2).

Таблица 2

№ п/п	Номер или название пункта, класс сети, тип центра и номер марки, ориентировочные пункты	Сведения о состоянии пункта			Работы, выполненные по возобновлению внешнего оформления
		центра	наружного знака	ориентирных пунктов	
1	2	3	4	5	6
1	ОМС-53, мет.уголок, класс ОМС	сохран и л я	сохранился	Сохранен	Не проводились
2	ОМС-54, мет.уголок, класс ОМС	сохран и л я	сохранился	Сохранен	Не проводились
3	ОМС-55, мет.уголок, класс ОМС	сохран и л я	сохранился	Сохранен	Не проводились
4	ОМС-56, мет.уголок, класс ОМС	сохран и л я	сохранился	Сохранен	Не проводились

В результате обследования было получено заключение, что данные исходные пункты ОМС могут быть использованы для производства инженерно-геодезических изысканий. В ходе топографо-геодезических работ от данных пунктов ОМС были определены координаты и высоты точек съёмочного обоснования (реперов) с помощью спутниковых GPS/ГЛОНАСС приёмников EFT M1[4]. При выполнении топографо-геодезических работ использовалось следующее геодезическое оборудование и программное обеспечение: 1) комплект спутниковой геодезической двухчастотной GPS аппаратуры (EFT M1), с помощью которой были определены координаты и высоты съёмочных точек (реперов) [10]; 2) электронный тахеометр Sokkia CX-106, с помощью которого производились измерения углов и длин линий с точек съёмочного обоснования; 3) программное обеспечение EFT Field Survey использовалось для вычисления координат и высот съёмочных точек (реперов) в режиме реального времени; 4) программное обеспечение CREDO DAT 4.0 Lite, где производилась предобработка и уравнивание всех полевых измерений, а также ПО CREDO ТОПОПЛАН, где производилось составление топографического плана.

Определение координат производилось в режиме реального времени с использованием ПО EFT Field Survey. GPS-съёмки в режиме RTK (Real Time Kinematics – реальный кинематический режим) – это кинематическая съёмка, когда оценка результатов может быть проведена непосредственно в поле. Съёмки в реальном времени могут быть: одночастотными; двухчастотными с автоматической инициализацией в статическом режиме; двухчастотными с автоматической инициализацией в процессе движения. Этот режим позволяет получать координаты с точностью до нескольких сантиметров непосредственно в полевых условиях [2; 3]. При использовании данного метода применялись два спутниковых геодезических приёмника EFT M1, причём один неподвижный устанавливался над исходным пунктом опорной сети, осуществлял сбор навигационных данных, выступая в качестве референтной базовой станции, навигационным компьютером спутникового геодезического приёмника формировались поправки с использованием координат и высот этого же пункта по данным спутниковых наблюдений. При помощи радиопередающего оборудования осуществлялась радиопередача корректирующих поправок в формате simplex на подвижный спутниковый геодезический приёмник, внутренний модем которого принимал данные поправки. Далее навигационный компьютер подвижного приёмника, имея вычисленные координаты, высоту и поправку на заданную эпоху вычислял своё точное местоположение на эту эпоху. Наблюдения при определении координат съёмочных точек в режиме RTK выполнялись с соблюдением следующих условий: 1) дискретность записи измерений - 1 сек.; 2) период наблюдений на точке – 10 сек.; 3) маска по возвышению – 10°; 4) допустимый коэффициент снижения точности измерения за геометрию пространственной

засечки - PDOR – 5 ед.; 5) количество одновременно наблюдаемых спутников – не менее 6; 6) плановая ошибка по внутренней сходимости – 20 мм; 7) высотная ошибка по внутренней сходимости – 15 мм; 8) погрешность измерения высоты антенны +/- 1 мм; 9) определение пикетов без прохождения "инициализации" не допускалось. Результаты измерений заносились на жёсткие диски полевых ПК и копировались на автономные носители информации с целью их последующей математической обработки. Для обработки измерений использовалось программное обеспечение EFT Field Survey, поставляемое вместе с комплектом спутниковой аппаратуры. После окончания полевых наблюдений необработанные данные GPS-измерений передаются из памяти приёмников в программное обеспечение EFT Field Survey. В итоге была получена ведомость оценки точности GPS-определений векторов с исходных пунктов на определяемые точки опорной сети (репера) и координаты пунктов в системе WGS-84 (см. таблицу 3).

Следующим шагом работы является преобразование полученных координат в исходную систему. Наиболее общим видом трансформирования является трехмерное преобразование согласно [1]. Затем производится уравнивание каждого из векторов, образованных в ходе первичной обработки данных. Далее, после получения координат пунктов в WGS-84, создается пользовательская система координат. Для этого устанавливается система координат СК-42 зона 8, которая включает в себя территорию Республики Мордовия. Напротив каждой координаты СК-42 вводим координаты в СК-13. Эти введенные значения являются новыми координатами пунктов в новой системе координат. Программа произведет пересчет значений координат из системы СК-42 в локальную систему координат СК-13.

**Оценка точности GPS-определений векторов с исходных пунктов
на определяемые точки опорной сети (репера)**

Имя	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	СКО в плане (m)	СКО по высоте (m)
Pn.1-OMC-53	-1284.402	1277.903	48.016	0.009	0.008
Pn.1-OMC-54	-1300.181	1295.739	48.521	0.005	0.014
Pn.1- OMC-55	902.382	-2901.682	44.891	0.007	0.016
Pn.1-OMC-56	982.062	-3113.524	47.613	0.010	0.009
Pn.2-OMC-53	-1155.001	1404.598	45.136	0.009	0.009
Pn.2-OMC-54	-1170.782	1422.444	45.641	0.009	0.014
Pn.2- OMC-55	1031.792	-2774.978	42.011	0.005	0.017
Pn.2-OMC-56	1111.471	-2986.823	44.733	0.010	0.012
Pn.3-OMC-53	-1178.760	1588.303	41.606	0.012	0.014
Pn.3-OMC-54	-1194.639	1606.132	42.111	0.011	0.010
Pn.3- OMC-55	1007.934	-2591.278	38.481	0.010	0.011
Pn.3-OMC-56	1087.603	2803.119	41.203	0.014	0.010

Уравнивание

Control Tie Analysis: failed

Adjustment type: План + Высота, Ограниченное

Confidence level: 95 %

Number of adjusted points: 3

Number of plane control points: 4

Number of used GPS vectors: 4

A posteriori plane or 3D UWE: 1 , Bounds: (1 , 1)

Number of height control points: 4

Number of rejected GPS vectors by height: 4

A posteriori height UWE: 0.5078024, Bounds: (3.8674676E-02 , 2.088749)

Следом были определены координаты и высоты трёх временных реперов, которые представляют собой металлическую арматуру, глубина закладки которой 1,20 м [8]. По результатам вычислений был составлен каталог координат и высот пунктов временного закрепления (таблица 4).

Таблица 4

Номер п/п	Название пункта	Координаты, м		Отметка, м
		X	Y	H
1	Рп.1	449533,306	1292966,702	155,110
2	Рп.2	449662,712	1293093,402	152,230
3	Рп.3	449638,850	1293277,100	148,700

На очередном этапе производилось измерение длин и углов линий с точек съёмочного обоснования с помощью электронного тахеометра Sokkia CX-106. Средние погрешности определения плано-высотного положения контуров местности, зданий и сооружений, выходов подземных коммуникаций составили: 1) горизонтальные углы – 8"; 2) вертикальные углы – 10"; 2) горизонтальное проложение – +/- 6 мм; 3) абсолютные отметки – 9 мм; 4) погрешность определения координат – 6 мм.

Топографическая съёмка масштаба 1:500 с высотой сечения рельефа сплошными горизонталями через 0,5 м, выполнена методом тахеометрической съёмки и методом с применением глобальных навигационных спутниковых систем ГЛОНАСС на площади 7,8 Га [5]. Тахеометрическая съёмка выполнялась с точек плано-высотного съёмочного обоснования с помощью электронного тахеометра Sokkia CX-106 с регистрацией и накоплением измерений в памяти прибора и составлением полевых абрисов. При камеральной обработке данные экспортировались в ПК и обрабатывались в ПО CREDO DAT 4.0 Lite. Результаты уравнивания выведены в виде ведомости координат и высот точек. Затем эти данные загружаются в ПО CREDO ТОПОПЛАН и производится составление топографического плана в условных знаках масштаба 1:500-1:5000, издания 2000 года с отображением элементов ситуации и рельефа и нанесением границ земельных участков.

Съёмка надземных и подземных коммуникаций проводилась в соответствии со строительными нормами и правилами [9]. Работа выполнялась с точек съёмочного обоснования полярным способом, а также с помощью электронного тахеометра Sokkia CX-106 одновременно со съёмкой ситуации и рельефа. При полярном способе углы измеряют одним полуприёмом, линии – в одном направлении. Средние погрешности съёмки рельефа и

его изображения на инженерно-топографическом плане относительно ближайших точек съемочного обоснования не превышает от принятой высоты сечения рельефа: $\frac{1}{4}$ – при углах наклона поверхности до 2° для планов в масштабе 1:500.

В итоге были получены координаты временных пунктов в системе координат СК-13 из системы WGS-84, получен инженерно-топографический план в масштабе 1:500 с коммуникациями. Фрагмент инженерно-топографического плана показан на рисунке 1.

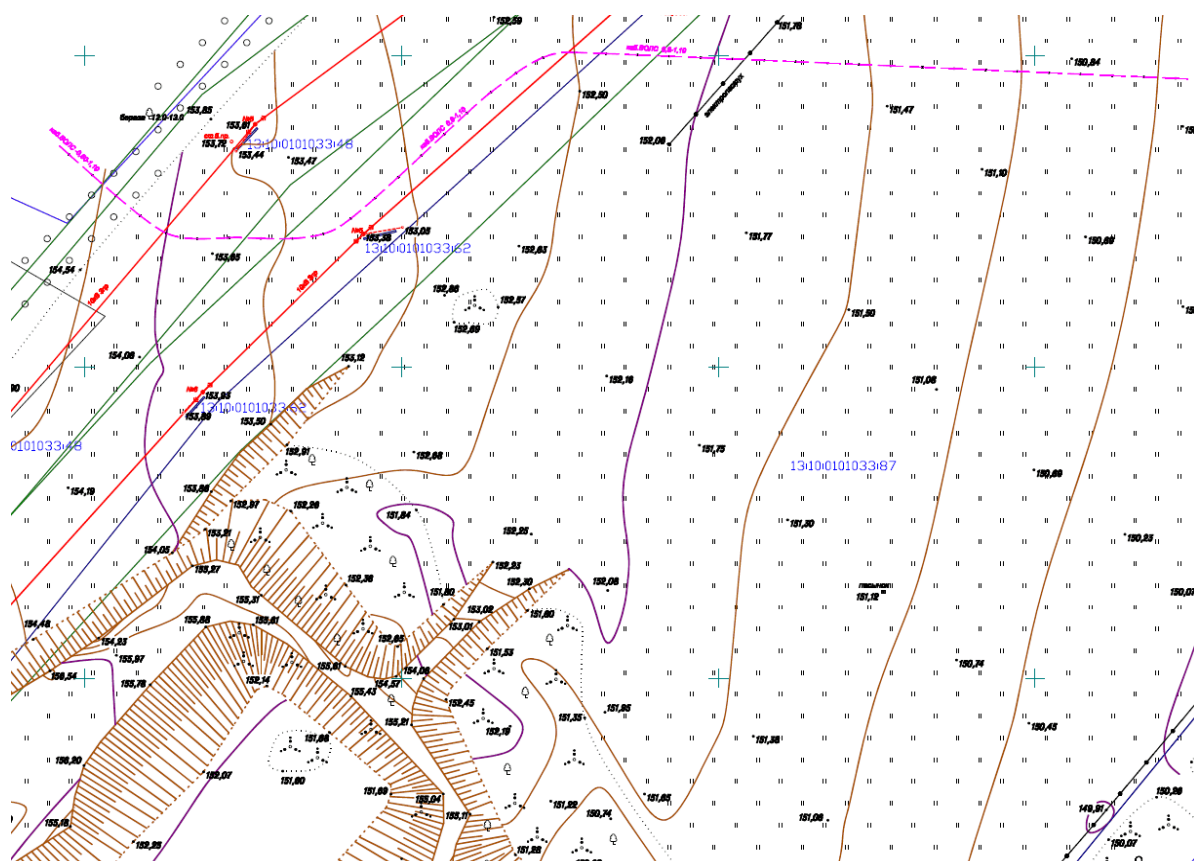


Рис. 1. Фрагмент инженерно-топографического плана в масштабе 1:500.

Результатом выполненного задания явилось: 1) Приобретение навыков и опыта работы с современными геодезическими приборами и программным оборудованием; 2) Освоение технологии расчета перехода параметров преобразования от общеземных систем координат WGS-84 к местным (локальным) системам координат СК-13; 3) Оценка точности GPS-определений векторов с исходных пунктов ОМС на определяемые точки опорной сети (репера); 4) Получение инженерно-топографического плана масштаба 1:500 с целью проведения изыскательских работ; 5) Закрепление соответствующих компетенций в рамках освоения курсов по направлению подготовки 05.03.03 «Картография и геоинформатика [7; 11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базлов Ю. А., Герасимов А. П., Ефимов Г. Н., Насретдинов К. К. Параметры связи систем координат // Геодезия и картография. – 1996. – № 8. – С. 7-15.
2. Варфоломеев А. Ф., Манухов В. Ф. Обработка геодезических данных с использованием современных программных продуктов: учебное пособие. – Саранск: Изд-во Морд. ун-та. – 2017. – 92 с.
3. Варфоломеев А. Ф., Чудайкина О. Ю. Использование RTK-режима систем глобального позиционирования GPS и ГЛОНАСС при проведении топографических работ [Электронный ресурс] // Огарёв-Online. – 2015. – №4 (45). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-rtk-rezhima-sistem-globalnogo-pozitsionirovaniya-gps-i-glonass-pri-provedenii-topograficheskikh-rabot> (дата обращения: 04.08.2020).
4. Манухов В. Ф., Разумов О. С., Тюряхин А. С., Коваленко А. К. Определение координат геодезических пунктов спутниковыми методами: учебное пособие. – Саранск, 2006. – 164 с.
5. Манухов В. Ф., Тюряхин А. С. Глоссарий геодезических терминов: учебное пособие. – Саранск: Изд-во Морд. ун-та, 2005. – 33 с.
6. Манухов В. Ф. Совершенствование методов топографических съёмок и инженерно-геодезических работ с использованием современных технологий // Вестник Мордов. ун-та. – 2008. – № 1. – С. 105.
7. Манухов В. Ф., Ивлиева Н. Г., Тюряхин А. С. Непрерывное образование применительно к картографо-геодезической специальности // Геодезия и картография. – 2009. – № 8. – С. 58-63.
8. Правила закладки центров и реперов на пунктах геодезической и нивелирной сетей. – М.: Картгеоцентр – Геодезиздат, 1993. – 102 с.
9. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200096789> (дата обращения: 04.08.2020).
10. Ткачев А. Н., Зараев Д. М., Манухов В. Ф. Использование GPS-технологий для проведения землеустроительных работ // Естественно-технические исследования: теория, методы, практика: межвузовский сборник научных трудов. – Саранск, 2005. – С. 121-122.
11. Тесленок С. А., Манухов В. Ф., Тесленок К. С. Цифровое моделирование рельефа Республики Мордовия // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80. – № 7. – С. 30-38.