

УДК 528.421

С.В. Гришко, И.О. Свизева, Е.А. Гришко

S.V. Grishko, I.O. Svizeva, E.A. Grishko

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

**КООРДИНИРОВАНИЕ УГЛОВ ЗДАНИЙ
ПРИ ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКЕ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГНСС-ТЕХНОЛОГИЙ**

**COORDINATION OF BUILDINGS CORNERS
IN TOPOGRAPHIC SURVEY USING GNSS
TECHNOLOGIES**

Приведен предварительный анализ возможности выполнения спутниковых наблюдений при топографической съемке зданий с учетом экранирования сигналов спутников. Представлены результаты натурных измерений на примере координирования углов здания Пермского академического театра «Театр-Театр» классическим способом с помощью тахеометра и спутниковым методом в режиме RTK. Произведена оценка точности спутниковых определений и сопоставлена с требованиями нормативных документов. Даны рекомендации по организации ГНСС-съемки зданий.

Ключевые слова: спутниковый приемник, ГНСС-съемка, диаграмма препятствий, геометрический фактор, PDOP, режим RTK, топографическая съемка, средняя ошибка, средняя квадратическая погрешность.

The paper presents a preliminary analysis of the possibility of performing satellite observations in topographic surveying of buildings, taking into account the shielding of satellite signals. The results of field measurements are presented on the example of coordinating the corners of the building of the Perm Academic Theater "Theater-Theater" in the classical way using a total station and the satellite method in RTK mode. An assessment of the accuracy of satellite determinations was made and compared with the requirements of regulatory documents. Recommendations for the organization of GNSS surveying of buildings are given.

Keywords: satellite receiver, gnss survey, gps obstruction diagram, dilution of precision, PDOP, RTK mode (real time kinematic), topographic survey, mean error, root mean square error.

В настоящее время рынок геодезического спутникового оборудования представлен в широком ценовом диапазоне большим количеством предложений, что в сочетании с постоянным расширением сервиса сетей базовых станций делает спутниковые приемники весьма универсальным инструмен-

том, как правило, предпочитаемым исполнителями для выполнения широкого спектра геодезических работ – от топографических съемок до создания сетей.

При установке спутникового приемника под кронами деревьев или вплотную у стен зданий закрывается часть небосвода, что приводит к экранированию сигналов спутников, ухудшению геометрии наблюдений, увеличению эффекта многопутности и неизбежно – к снижению точности спутниковых определений, оценить которые невозможно без контроля другими видами измерений.

Согласно действующим нормативным документам [1, 2, 3], средняя ошибка в съемке контуров с четкими очертаниями не должна превышать 0,5 мм в масштабе создаваемого плана, а предельные погрешности во взаимном положении на плане точек ближайших контуров (капитальных сооружений, зданий и т.п.) не должны превышать 0,4 мм. Для наиболее востребованного крупного съемочного масштаба 1:500 эти величины составляют 25 и 20 см и совершенно не представляют проблем при выполнении фазовых спутниковых определений в благоприятных условиях, в противном же случае деградация точности может быть критичной, особенно при получении плавающих (float) или кодовых решений.

Для выполнения топографических съемок наиболее эффективен метод RTK (Real Time Kinematic), поэтому именно его потенциальная точность при координировании углов зданий представляет интерес и была исследована на примере съемки здания Пермского академического театра «Театр-Театр».

На первом этапе было выполнено прогнозирование геометрии спутникового созвездия для мест съемки, отмеченных на рис. 1, с учетом экранирования сигналов спутников, определение которого выполнялось камеральным способом. Диаграммы препятствий для наихудших условий наблюдений и соответствующие им графики распределения геометрического фактора при совместном использовании, как минимум, двух навигационных систем (GPS, ГЛОНАСС) представлены на рис. 2 и 3. Анализ последних показывает принципиальную возможность выполнения спутниковых определений, так как на графиках имеются достаточно продолжительные интервалы, где величины геометрического фактора не превышают рекомендованного инструкцией [4] значения $PDOP \leq 7$. В основном они совпадают с периодами максимального количества спутников и требуют некоторого планирования наблюдений. Очевидно также, что при прочих равных худшие условия для выполнения спутниковых измерений будут с северной стороны объектов съемки из-за особенностей построения космического сегмента навигационных систем.

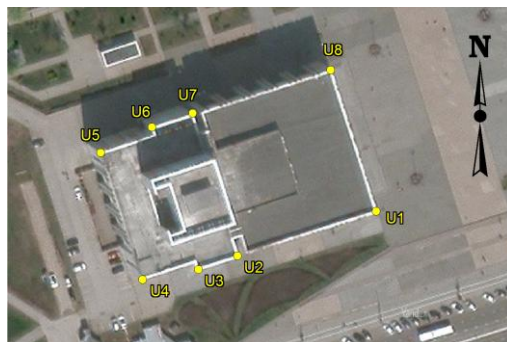


Рис. 1. Схема расположения точек съемки здания Пермского академического театра «Театр-Театр» (исходное изображение с ресурса Яндекс.Карты)

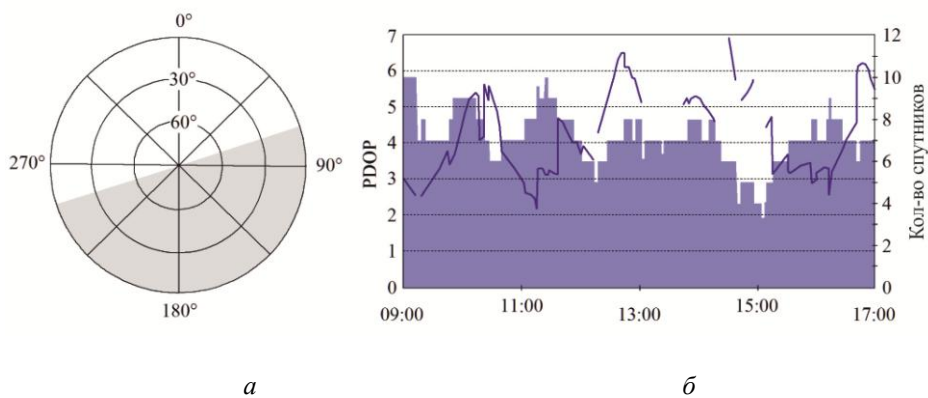


Рис. 2. Диаграмма препятствий (а) и график распределения геометрического фактора PDOP и количества спутников для угла U_7 (б) (прогнозирование выполнено с использованием программы Leica Geo Office при угле маски 15°)

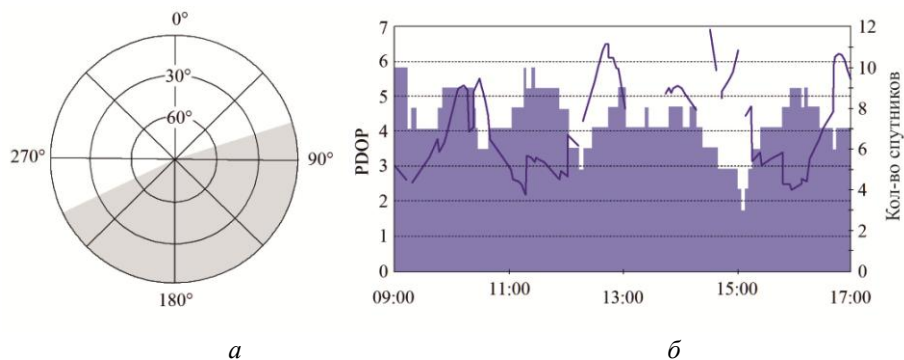


Рис. 3. Диаграмма препятствий (а) и график распределения геометрического фактора PDOP и количества спутников для угла U_6 (б) (прогнозирование выполнено с использованием программы Leica Geo Office при угле маски 15°)

На втором этапе были выполнены натурные измерения с использованием классической и спутниковой технологий. Классические измерения производились комплектом оборудования, включающего электронный тахеометр Topcon GPT-7003 и отражатель на вехе. Заключались они в развитии вокруг объекта съемочного обоснования в виде замкнутого теодолитного хода (рис. 4) и выполнении с него съемки полярным способом. Для контроля и оценки точности измерений некоторые углы здания были определены дважды с разных точек съемочного обоснования. В табл. 1 приведены характеристики реализованного съемочного обоснования, а в табл. 2 – результаты повторных определений с оценкой точности по разности двойных измерений. Точностные показатели, представленные в этих таблицах, существенно превышают требования, предъявляемые к созданию съемочного обоснования и выполнению топографической съемки [1], поэтому эти измерения использовались далее в качестве эталонных.

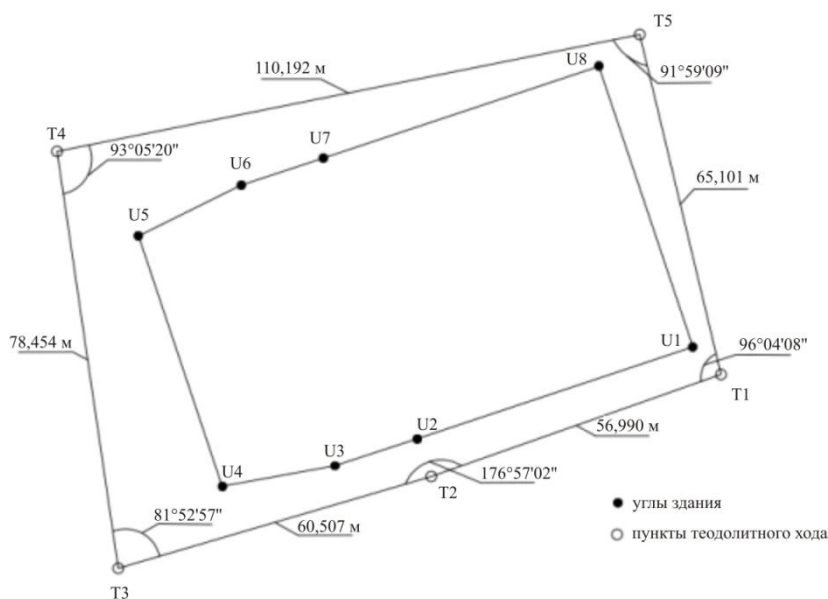


Рис. 4. Схема съемочного обоснования

Таблица 1

Характеристики теодолитного хода

Точки	Длина, м	Кол-во углов, n	$f_{\text{впр}}$	$f_{\text{доп}}$	f_x , м	f_y , м	$f_{\text{абс}}$, м	$f_{\text{отн}}$
$T_1, T_2 \dots T_5$	371,244	5	$-0^{\circ}00'24''$	$0^{\circ}02'14''$	0,005	-0,003	0,006	$\frac{1}{61874}$

Таблица 2

Результаты повторных измерений

Угол	d_x , см	d_y , см	$d = \sqrt{d_x^2 + d_y^2}$, см
U_1	-1,3	0,3	1,3
U_4	-2,3	-3,8	4,4
U_7	0,5	-2,8	2,8
$m = \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} =$			2,2

Для выполнения спутниковых измерений использовались два ГНСС-приемника Trimble R10. Один из них устанавливался с помощью вехи и трипода на точку съемочного обоснования T_1 и работал в качестве базового, передавая корректирующую информацию посредством радиомодема. Второй в режиме RTK применялся для съемки точек с длительностью наблюдений на каждой по 5 с. При координировании углов приемник устанавливался вплотную к элементам здания. Возникающее при этом несовпадение центра антенны с точкой съемки, равное радиусу приемника (≈ 6 см), не учитывалось ввиду своей малости в сравнении с допустимыми погрешностями [1]. Для преобразования координат в условную систему, реализованную классическими измерениями, была выполнена калибровка на местности по всем точкам съемочного обоснования, общая погрешность которой не превысила 1 см.

Таблица 3

Рассогласования плановых координат углов здания
по результатам ГНСС-съемки и классических измерений

Угол	Δ_x , см	Δ_y , см	$\Delta = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2}$, см
U_1	-3,9	2,9	4,9
U_2	-1,6	7,1	7,3
U_3	-3,9	3,5	5,2
U_4	-2,6	-0,6	2,7
U_5	2,2	-0,6	2,3
U_6	3,8	-3,7	5,3
U_7	-14,5	-6,6	15,9
U_8	1,8	0,1	1,8
$\theta = \frac{[\Delta]}{n} =$			5,7

В табл. 3 представлены отклонения плановых координат снятых углов, полученных при помощи спутниковой технологии, от эталонных, полученных из классических измерений. Для оценки взаимного положения точек ближайших контуров в табл. 4 приведены разности расстояний, вычисленные по эталонным координатам и координатам, полученным в результате спутниковых наблюдений.

Таблица 4

Рассогласования расстояний между углами здания по результатам ГНСС-съемки и классических измерений

Углы	$S_{ст}, \text{ см}$	$S_{GNSS}, \text{ см}$	$\Delta_S = S_{GNSS} - S_{ст}, \text{ см}$
$U_1 - U_2$	5385,8	5390,5	4,7
$U_2 - U_3$	1615,3	1611,2	-4,1
$U_3 - U_4$	2124,9	2121,1	-3,8
$U_4 - U_5$	4915,4	4910,8	-4,6
$U_5 - U_6$	2117,9	2120,0	2,1
$U_6 - U_7$	1595,1	1603,5	8,4
$U_7 - U_8$	5406,2	5394,7	-11,5
$U_8 - U_1$	5513,9	5507,6	-6,3
$M = 2m = \sqrt{\frac{[\Delta_S^2]}{n}} =$			12,7

Показатели точности, рассчитанные в табл. 3 и 4, а именно средняя ошибка съемки четких контуров $\theta = 5,7$ см и предельная погрешность во взаимном положении на плане точек ближайших контуров $M = 12,7$ см, полностью соответствуют требованиям нормативных документов и позволяют рекомендовать ГНСС-съемку зданий в режиме RTK для создания топографических планов масштабов 1:500 и мельче.

Полученные в этой работе результаты, а также практический опыт ее выполнения позволяют дать некоторые рекомендации по выбору оборудования и организации ГНСС-съемки зданий:

- 1) следует применять мультисистемные спутниковые приемники;
- 2) прогнозировать условия спутниковых наблюдений и ориентироваться на периоды максимального количества спутников;

3) при выполнении съемки с северной стороны зданий следует планировать как увеличенные оккупации на точках, так и повторные наблюдения;

4) стоит обратить внимание на приемники с компенсацией наклона вехи для учета внецентренной установки;

5) для создания топографических планов более крупного масштаба, например 1:200, съемку зданий следует выполнять классическими или иными способами, гарантированно обеспечивающими требуемую точность.

Список литературы

1. Инструкция по топографической съёмке в масштабах 1:5 000, 1:2 000, 1:1 000 и 1:500 (ГКИНП-02-033-82). – М.: Недра, 1982.

2. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ (СП 317.1325800.2017). – М.: Стандартинформ, 2018.

3. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. (СП 47.13330.2016). – М.: Стандартинформ, 2017.

4. Инструкция по развитию съёмочного обоснования и съёмке ситуации и рельефа с применением ГЛОНАСС и GPS (ГКИНП (ОНТА)-02-262-02); ЦНИИГАиК. – М., 2002.

Получено 03.10.2021

Гришко Сергей Вадимович – научный сотрудник кафедры «Маркшейдерское дело, геодезия и геоинформационные системы», горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: svgrishko@mail.ru.

Свизева Ирина Олеговна – студентка группы ПГ-16-1с, кафедра «Маркшейдерское дело, геодезия и геоинформационные системы», горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет, e-mail: svizevaio@yandex.ru.

Гришко Елена Александровна – инженер кафедры «Маркшейдерское дело, геодезия и геоинформационные системы», горно-нефтяной факультет, Пермский национальный исследовательский политехнический университет.