

Исследование точности передачи координат и высот на монтажные горизонты построением сети обратных линейно-угловых засечек

© 2018 г. А.К. Зайцев, И.В. Горяинов*, А.А. Шевчук

Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия

*igorgoryainow@yandex.ru

Investigation of accuracy of transmission of coordinates and heights on mounting horizons by construction of network of the resection

A.K. Zaitsev, I.V. Goryainov*, A.A. Shevchuk

State University of Land Use Planning, Moscow, Russia

*igorgoryainow@yandex.ru

Received January 23, 2018

Accepted May 22, 2018

Keywords: error, floor, free station, high building, high-level surveying, polar measurement, retroreflective sheeting, resection, total station, trigonometric leveling,

Summary. The subject of the article is the estimation of the accuracy of length-angle resection in the transfer of coordinates and heights to the floors of high-rise buildings. At the beginning, the experiment was considered on the sixteen-story building of МИГАiК, where the measurements were made directly and back. The total stations of different firms (Leica, Trimble, Sokkia) were used. The stations were defined on four levels: on the ground floor, on the sixth, on the tenth and on the sixteenth floors (on balconies). Three points, fixed with stamps, served as base. Instruments were installed in the same carrier. The places of installation of the tripod did not coincide on the sixth, tenth and sixteenth floors. The article presents a precomputation estimation of accuracy in the CredoDat software, and a comparison of various characteristics is performed, such as: the accuracy estimate given by the instrument and the difference in coordinates obtained at the strokes directly and back. Finally, a comparative analysis of these characteristics is made for the points observed on the ground floor. The well-known conclusion that the best solution of the planned component of the length-angle resection is provided by the experimental method and has been confirmed experimentally with the number of points not less than three, of which two were close to the station and one was distant. Also, all the results obtained satisfy the necessary tolerances.

Citation: Zaitsev A.K., Goryainov I.V., Shevchuk A.A. Investigation of accuracy of transmission of coordinates and heights on mounting horizons by construction of network of the resection. *Izvestiya vuzov «Geodeziya i aerofotosyemka»*. Izvestia vuzov «Geodesy and Aerophotosurveying». 2018, 62 (3): 271–276. [In Russian]. DOI: 10.30533/0536-101X-2018-62-3-271-276.

Поступила 23 января 2018 г.

Принята к печати 22 мая 2018 г.

Ключевые слова: высотное здание, монтажный горизонт, обратная линейно-угловая засечка, пленочный отражатель, погрешность, полярная засечка, тригонометрическое нивелирование, электронный тахеометр, этаж.

Описывается эксперимент по передаче координат и высот на этажи высотных зданий обратной линейно-угловой засечкой. Цепочка строится в прямом (снизу вверх) и в обратном (сверху вниз) направлениях. Анализируется точность такого построения и даются рекомендации по практическому применению данного способа создания геодезического обоснования на монтажных горизонтах при строительстве высотных сооружений.

Для цитирования: Зайцев А.К., Горяинов И.В., Шевчук А.А. Исследование точности передачи координат и высот на монтажные горизонты построением сети обратных линейно-угловых засечек // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2018. Т. 62. № 3. С. 271–276. DOI: 10.30533/0536-101X-2018-62-3-271-276.

Введение

При геодезическом сопровождении высотного строительства возникают задачи передачи координат и высот на монтажные горизон-

ты и создание на них внутренней разбивочной сети. Согласно [1], предельная погрешность передачи координат по вертикали не должна превышать 1/1000, но не более 15 мм на всю

высоту здания. В настоящее время эта задача чаще всего решается построением многоярусной цепочки обратных линейно-угловых засечек (далее в тексте — ОЛУЗ) с измерением их элементов электронным тахеометром. Имеется ряд публикаций, посвященных теоретическим вопросам оценки точности отдельной типовой схемы засечки [2–5]. Однако остается открытым вопрос о реальной погрешности передачи координат и высот ярусами ОЛУЗ. Поиск ответа на данный вопрос — цель проведенного нами эксперимента.

Проведение эксперимента и результаты

Эксперимент был поставлен на шестнадцатизэтажном здании общежития МИИГАиК (рис. 1). Все измерения выполнялись тремя широко применяемыми в производстве моделями тахеометров: Sokkia SET530RK, Leica TS06, Trimble M3, обеспечивающими одинаковую точность измерений ($m_b = 5''$, $m_s = 2$ мм), при этом каждый тахеометр устанавливался в один и тот же трегер, т.е. влияние погрешностей центрирования приборов исключалось при сравнительном анализе точности измерений и их функций.

Станции ОЛУЗ определялись на четырех уровнях: цокольном, шестом, десятом и шестнадцатом этажах (на балконах). Опорными для

цокольного этажа служили три пункта, закрепленных марками на близлежащих конструкциях (рис. 2, а). С этой станции «в режиме координат» определялись координаты и высоты пяти отражательных марок, расположенных в местах, удобных для визирования с 6-го этажа (см. рис. 2, а). Опираясь на три из них, определялась станция ОЛУЗ на 6-ом этаже и с нее — координаты и высоты марок, расположенные в местах, удобных для визирования с 10-го этажа (см. рис. 2, а). По ним определялась станция на 10-ом этаже и с нее координаты и высоты марок, удобных для визирования с 16-го этажа. Таким же образом была определена станция ОЛУЗ на 16-ом этаже. На этом развитие цепочки ОЛУЗ снизу в вверх заканчивалось (прямой ход). Затем место установки прибора менялось и аналогично ранее описанной здесь технологии строилась цепочка ОЛУЗ в направлении сверху вниз (обратный ход, рис. 2, б). При этом места установки штатива на 16, 10 и 6-ом этажах не совпадали с местами в прямом ходе. Заканчивался обратный ход центрированием прибора на цокольном этаже над той же точкой, с которой начинался прямой ход.

Планы измеряемых элементов ОЛУЗ на каждом из четырех ярусов представлены на рис. 3.

Предварительно была выполнена оценка точности проекта цепочки ОЛУЗ в прямом и обратном ходах в программе Credo DAT (табл. 1).

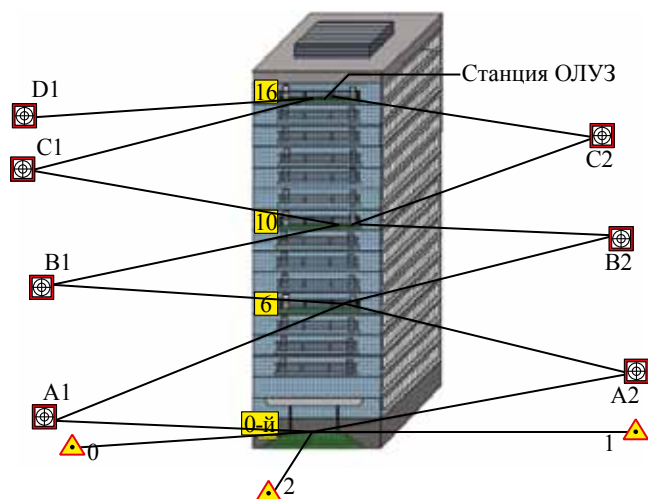


Рис. 1. Стилизованная схема построения вертикальной цепочки ОЛУЗ

Fig. 1. Stylized scheme for constructing a vertical chain resection

Таблица 1
Оценка точности проекта цепочки ОЛУЗ в программе CredoDat

Номер пункта	Пункт	$M_{ср}$, м	$M_{хср}$, м	$M_{уср}$, м	$M_{нср}$, м
1	ST1	0,002	0,002	0,001	0,002
2	ST6	0,004	0,004	0,002	0,004
3	ST10	0,005	0,004	0,002	0,005
4	ST16	0,008	0,007	0,004	0,018
5	ST16W	0,008	0,008	0,004	0,018
6	ST10W	0,010	0,009	0,005	0,024
7	ST6W	0,011	0,010	0,005	0,026
8	ST1W	0,011	0,010	0,005	0,025
9	0 (исходные)	0,016	0,01	0,012	0,026
10	2 (исходные)	0,011	0,009	0,005	0,025

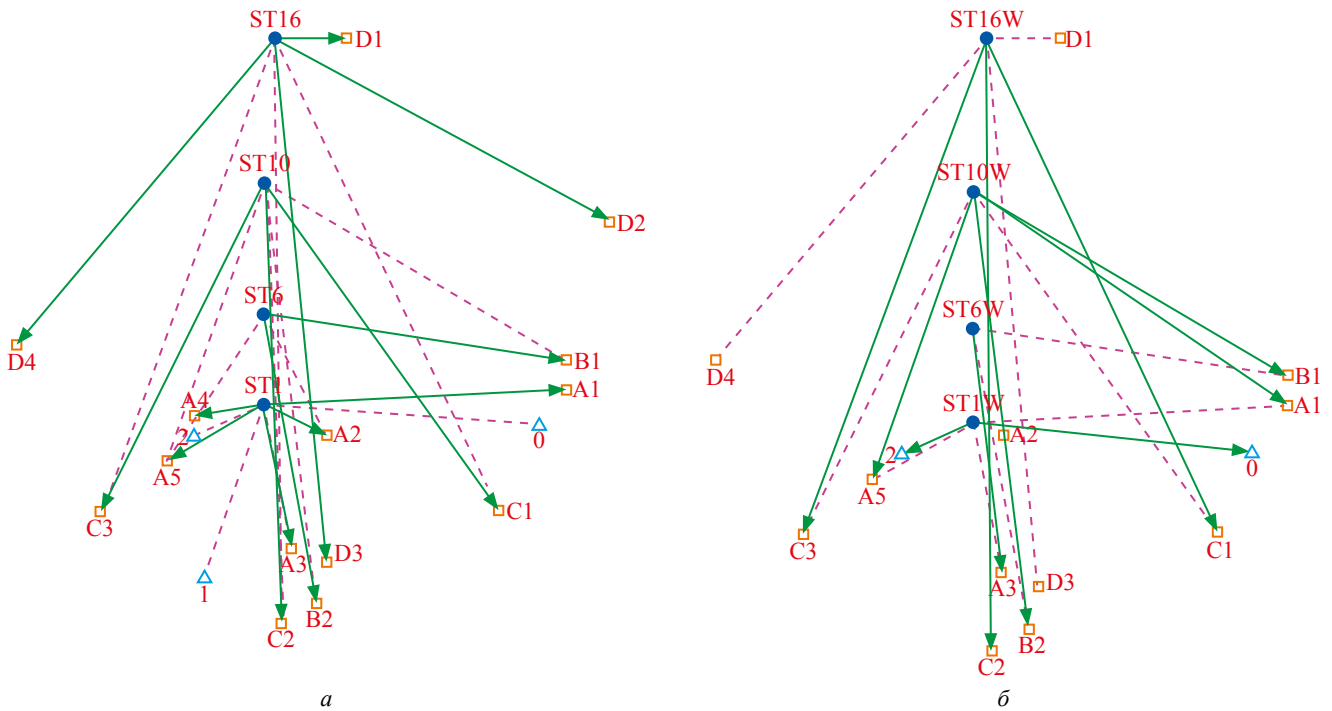


Рис. 2. Схема сети:

a — развитие сети вверх; *б* — развитие сети вниз; - - - линии засечки от исходных пунктов; —> — линии полярной засечки

Fig. 2. Network layout:

a — network growth upwards; *b* — network growth downwards; - - - lines of a notch from starting points; —> — lines of a polar notch

Согласно данным табл. 1, погрешность «подъема» и «спуска» координат не должна превышать величину 0,016 м, а высоты 0,026 м (см. пункт 0).

Как известно, при измерениях тахеометром

по схеме ОЛУЗ в «режиме координат» результатом обработки каждой отдельной схемы ПО тахеометра являются выведенные на дисплей координаты и высоты станции, а также их погрешности (табл. 2).

Таблица 2

Погрешности координат и высот точек станций, полученных при развитии цепочки ОЛУЗ в вертикальном направлении, выведенные на дисплей электронного тахеометра*

№ п/п	Пункт	Марка тахеометра								
		Sokkia			Leica			Trimble		
		$\delta X, \text{ м}$	$\delta Y, \text{ м}$	$\delta H, \text{ м}$	$M_p, \text{ м}$	$M_a, \text{ ''}$	$M_{HP}, \text{ м}$	v_x	v_y	v_z
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	ST1	0,001	0,001	0,001	0,000	0	0,002	-0,003	0,001	-0,003
2	ST6	0,002	0,003	0,000	0,002	9	0,001	0,002	-0,004	0,001
3	ST 10	0,003	0,002	0,002	0,000	0	0,001	-0,003	0,002	0,003
4	ST16	0,004	0,002	0,004	0,007	4	0,004	-0,006	-0,002	-0,007
5	ST16W	0,002	0,000	0,002	0,002	2	0,003	0,004	-0,003	-0,003
6	ST10W	0,003	0,002	0,002	0,003	1	0,004	0,005	-0,002	0,004
7	ST6W	0,002	0,001	0,003	0,003	6	0,002	-0,004	-0,001	0,003
8	ST1W	0,003	0,001	0,002	0,003	7	0,002	0,003	-0,003	-0,002
9	$[\delta^2]$	0,00006	0,00002	0,00004	0,00008	187,00	0,00005	0,00012	0,00005	0,00011
10	$M_{\text{так}} \sqrt{[\delta]^2}$	0,0075	0,0043	0,0063	0,0088	13,6	0,0072	0,0111	0,0069	0,0103

* Электронный тахеометр оценивает точность только засечки. Credo DAT учитывает погрешность сети на данном этапе построения

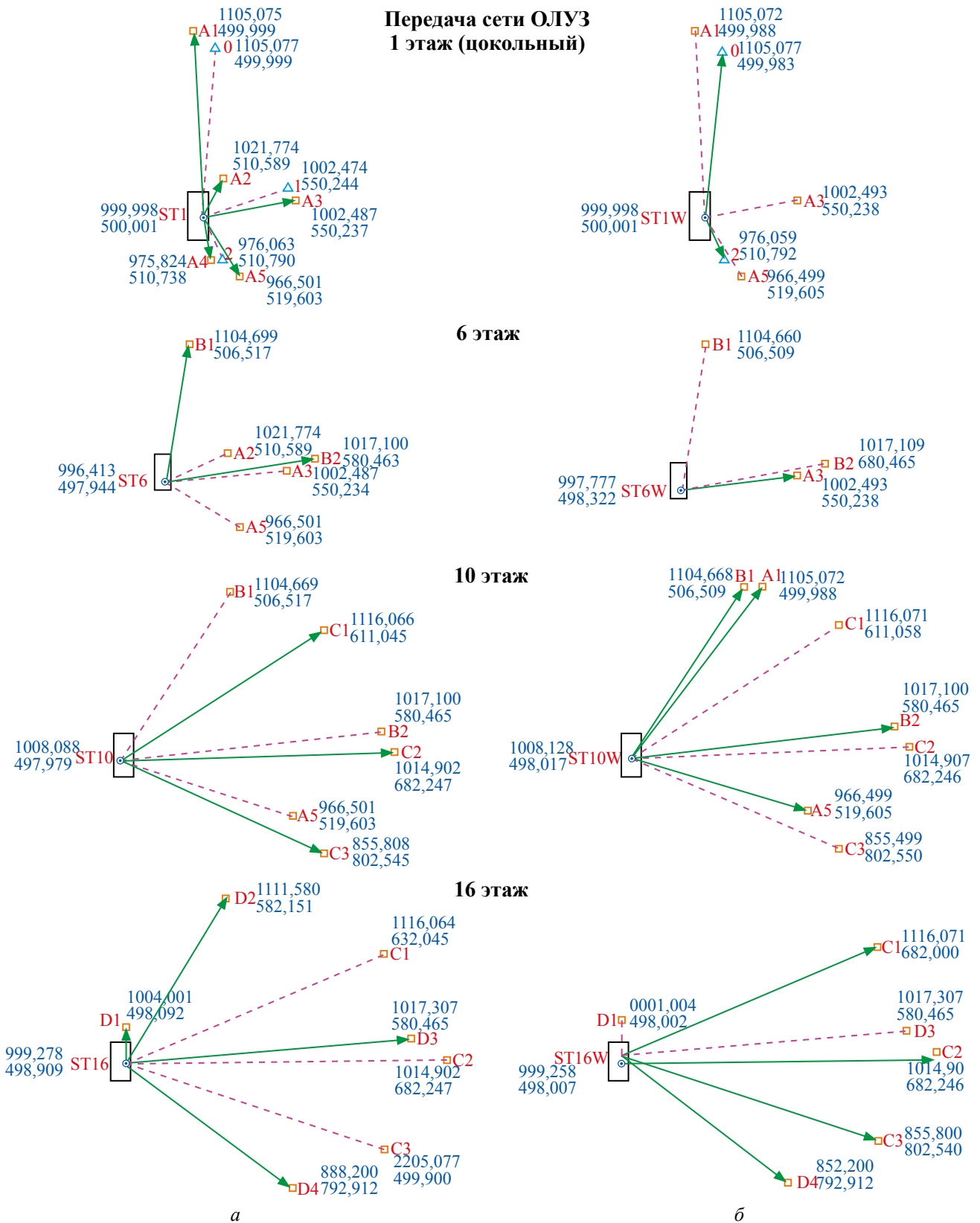


Рис. 3. Поэтажные планы наблюдений ОЛУЗ:

a — передача сети ОЛУЗ вверх; *b* — передача сети ОЛУЗ вниз

Fig. 3. Floor observation plans resection:

a — transmission of a resection network upwards; *b* — transmission of a resection network downwards

Сравнение результатов оценки точности станций цепочки ОЛУЗ, полученных тахеометрами ($M_{\text{тах}}$) и в программе Credo DAT($M_{\text{ср}}$)

№ п/п	Пункт	Марка тахеометра							
		Sokkia			Leica		Trimble		
		δX , м	δY , м	δH , м	M_p , м	M_h , м	v_x , м	v_y , м	v_z , м
1	ST1	0,000	0,000	-0,001	-0,002	0,000	-0,004	0,000	-0,005
2	ST6	-0,001	0,002	-0,004	-0,002	-0,003	-0,001	-0,005	-0,003
3	ST 10	0,000	0,000	-0,003	-0,005	-0,004	-0,006	0,000	-0,002
4	ST16	-0,002	-0,001	-0,014	-0,001	-0,014	-0,012	-0,005	-0,025
5	ST16W	-0,004	-0,003	-0,016	-0,006	-0,015	-0,002	-0,006	-0,021
6	ST10W	-0,005	-0,003	-0,022	-0,008	-0,020	-0,003	-0,006	-0,020
7	ST6W	-0,006	-0,004	-0,023	-0,008	-0,024	-0,012	-0,006	-0,023
8	ST1W	-0,005	-0,004	-0,023	-0,008	-0,023	-0,005	-0,008	-0,027
9	$M_{\text{тах}} - M_{\text{ср}}$	0,0025	0,0007	0,0187	0,0022	0,018	-0,0011	-0,0019	0,0147

Сравнение результатов, полученных тахеометрами и в программе CredoDAT, представлены в табл. 3. Из анализа ее данных следует, что погрешность определения координат и высот станции в данном эксперименте не превышает 3 мм в плане и 20 мм по высоте (строка 9).

Разности координат и высот одноименных точек сети ОЛУЗ, полученных в прямом и обратном ходах, представлены в табл. 4. Из анализа ее данных следует, что разности координат тем значительнее, чем больше расстояние наблюдаемой точки от станции ОЛУЗ. Однако их влияние на высоту и координаты конечной станции существенно меньше, чем было рассчитано ПО Credo DAT.

Расхождение в координатах *начальной станции* ST1 прямого хода и *конечной станции*

ST1W обратного хода, по существу, координатные невязки цепочки ОЛУЗ. Величины этих невязок для всех трех тахеометров показаны в табл. 5 (в графе 3). Здесь же в графе 1 для удобства сравнения приведены данные из табл. 1, а в графе 2 — из табл. 2.

Выводы

Анализируя сводные данные табл. 5, можно сделать следующие выводы:

1) невязки ярусов ОЛУЗ на конечной станции и контрольных точках соответствуют априорной оценки точности, выполненной в программе Credo DAT для плановых координат и примерно в три раза меньше рассчитанных ранее невязок по высоте (см. графы 1 и 3 табл. 5);

Таблица разности координат и высот точек сети, м

Имя точки	Расстояние от станции ОЛУЗ, м	Марка тахеометра								
		Sokkia			Leica			Trimble		
		ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH	ΔX	ΔY	ΔH
0	105,080	0,007	0,010	0,005	-0,010	0,018	0,001	0,005	0,021	-0,001
2	26,255	0,010	-0,002	0,004	-0,006	0,001	0,009	0,009	-0,007	0,004
A1	105,075	0,006	-0,001	-0,008	-0,007	0,019	0,013	0,011	0,015	0,003
A3	50,294	0,000	-0,007	0,000	-0,013	0,004	0,005	-0,005	-0,001	0,011
A5	38,812	0,005	-0,005	0,001	-0,006	0,006	0,012	0,007	-0,006	0,004
B1	108,592	0,004	0,007	0,001	-0,007	0,005	0,015	0,006	0,013	0,011
C1	174,557	0,002	0,000	-0,002	-0,005	0,005	0,012	-0,010	0,014	-0,003
C2	184,640	0,013	-0,006	-0,002	-0,009	0,011	0,014	-0,020	0,001	-0,004
C3	338,260	0,028	0,007	-0,009	-0,023	-0,005	0,022	-0,008	-0,016	0,010

Сравнительный анализ погрешностей станции и опорных точек и фактические невязки их координат и высот (цокольный этаж)

Имя точки	CredoDAT			Дисплей тахеометра			Невязки		
	M_x , м	M_y , м	M_H , м	δX , м	δY , м	δH , м	ΔX , м	ΔY , м	ΔH , м
	1			2			3		
Sokkia									
ST1W	0,010	0,005	0,025	0,008	0,004	0,006	0,008	-0,004	-
H0	0,010	0,012	0,026	-	-	-	0,007	0,010	0,005
H2	0,009	0,005	0,025	-	-	-	0,010	-0,002	0,004
Leica									
ST1W	0,010	0,005	0,025	0,009	14	0,007	-0,006	0,005	-
H0	0,010	0,012	0,026	-	-	-	-0,010	0,018	0,001
H2	0,009	0,005	0,025	-	-	-	-0,007	0,001	0,009
Trimble									
ST1W	0,010	0,005	0,025	0,011	0,007	0,010	0,011	-0,005	-
H0	0,010	0,012	0,026	-	-	-	0,005	0,021	-0,001
H2	0,009	0,005	0,025	-	-	-	0,009	-0,007	0,004

2) характеристики точности, выданные тахеометрами, практически совпали с фактическими невязками (см. графы 2 и 3 табл. 5);

3) полученные величины невязок существенно меньше допустимого отклонения здания от высоты, что говорит о достаточной надежности передачи точек по вертикали по схеме ОЛУЗ тахеометрами данной точности ($m_\beta = 5''$, $m_s = 2$ мм) (СНиП 3.03.01–87 Несущие и ограждающие конструкции);

4) опыт проведенного эксперимента подтвердил известный вывод, что наилучшее решение плановой составляющей ОЛУЗ обес-

печивается при числе точек не менее трех, из которых две близко расположены к станции, а одна удалена [3, 4]. В этом случае погрешность ориентирования инструмента существенно уменьшается;

5) так как в схеме ОЛУЗ для всех тахеометров высота станции определяется как *среднее арифметическое* [7, 8] из результатов тригонометрического нивелирования, при удалении исходных точек более чем на 150 м целесообразно развивать высотную сеть ОЛУЗ отдельно от плановой (Leica Flex Line plus. Руководство пользователя. Версия 3.0; Тахеометр Sokkia. Руководство по эксплуатации).

ЛИТЕРАТУРА

- СП 126.13330.2012 Геодезические работы в строительстве. Актуализированная редакция СНиП 3.01.03-84.
- Horemuž M., Jansson P. Optimum establishment of total station // Journal of Surveying Engineering. May 2017. V. 143. Is. 2.
- Электронный ресурс: https://www.staigsmith.co.nz/site/staigsmith/images/pdf/SQ_53_March%202008.pdf.
- Горяинов И.В. О наилучшей конфигурации обратной линейно-угловой засечки и необходимом количестве пунктов для достижения заданной точности // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2016. № 4. С. 41–47.
- Электронный ресурс: <https://cyberleninka.ru/article/v/k-voprosu-o-tochnosti-obratnoy-lineynno-uglovoy-zasechki-na-malyh-rasstoyaniyah>.

REFERENCES

- Code of Practice. SP 126.13330.2012. Set of rules. Geodetic work in construction. Updated version of SNiP 3.01.03-84. Retrieved from ConsultantPlus online database. [in Russian].
- Horemuž M., Jansson P. Optimum establishment of total station Journal of Surveying Engineering. May 2017, 143, 2.
- URL: https://www.staigsmith.co.nz/site/staigsmith/images/pdf/SQ_53_March%202008.pdf.
- Goryainov I.V. On the best configuration of the linear-angle intersection and the necessary places to achieve the specified accuracy. Izvestiya vuzov. «Geodeziya i aerofotosyemka». Izvestiya Vuzov. «Geodesy and Aerophotosurveying», 2016, 4: 41–47. [In Russian].
- URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/issledovanie-vliyaniya-stabilnosti-polozheniya-ishodnoy-geodezicheskoy-bases-on-tochnost-obratnoy-lineynno-uglovoy-zasechki-na-malyh-rasstoyaniyah>.