

О ТОЧНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ПЛАНОВО-ВЫСОТНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ РАЗБИВОЧНОЙ ОСНОВЫ НАЗЕМНЫМИ МЕТОДАМИ

Антон Викторович Никонов

АО «Сибтехэнерго», 630032, Россия, г. Новосибирск, ул. Планировочная, 18/1, ведущий инженер; Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, e-mail: sibte@bk.ru

Ирина Николаевна Чешева

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, ст. преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

В статье приводится сравнительный анализ создания планово-высотного обоснования для целей изысканий и строительства. На территории строительства площадью до 1–2 км² рекомендуется создавать разбивочную основу методом линейно-угловых построений с точностью городской полигонометрии 4-го класса. При центрировании тахеометра и отражателя с ошибкой не более 1 мм минимальная длина стороны сети (хода) составляет 140 м. Предрасчет точности геодезической разбивочной основы с заданным уровнем достоверности может быть выполнен в программе Credo DAT. Высотную сеть целесообразно создавать одновременно с плановой – методом двухстороннего тригонометрического нивелирования с точностью III–IV класса. Высота тахеометра с использованием специальной рулетки Leica может быть измерена с ошибкой до 1 мм. Требования действующего свода правил «Геодезические работы в строительстве» не всегда обоснованы и требуют внимательного отношения к ним.

Ключевые слова: геодезическая разбивочная основа, предрасчет точности, средняя квадратическая ошибка, электронный тахеометр, двухстороннее тригонометрическое нивелирование, высота прибора.

ACCURACY OF THE GEODETIC CONTROL NETWORK DEVELOPED BY LAND METHODS

Anton V. Nikonov

Sibtechenergo, 18/1, Planirovochnaja St., Novosibirsk, 630032, Russia, Leading Engineer; Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, e-mail: sibte@bk.ru

Irina N. Chesheva

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Senior Lecturer, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55

The article gives comparative analysis of the creating horizontal and vertical geodetic control network for the purposes of research and building. It is recommended to create geodetic network on the territory up to 1–2 sq km by means of linear-angular measurements with the accuracy of urban fourth-order traverse. After centering the total station and the reflector with an error not more than 1 mm, the minimal network side is 140 m. The precalculation of geodetic control network accuracy with the given confidence level can be performed in CredoDAT.

Creation of vertical and horizontal geodetic network should go simultaneously – by means of reciprocal trigonometric leveling of III–IV order accuracy. The height of the total station with use of specific tape measurer Leica can be measured with error of up to 1 mm. The requirements of the acting set of rules «Geodetic works in construction» are not always substantiated and require careful attitude.

Key words: geodetic control network, accuracy calculation, standard deviation, total station, reciprocal trigonometric leveling, height of instrument.

Введение

В целях проведения инженерно-геодезических изысканий, согласно своду правил [1], создаются (развиваются) опорные геодезические сети (ОГС). По точности в плане ОГС развивают в виде сетей 3-го и 4-го классов, а также сетей сгущения 1-го и 2-го разрядов. Отметки пунктов ОГС определяются из нивелирования II–IV классов. Точность и методы создания ОГС зависят от целей и задач изысканий, размеров участка работ, масштаба предстоящей топографической съемки, и устанавливаются техническим заданием заказчика. В дальнейшем ОГС сгущается путем развития съемочных геодезических сетей, являющихся основой крупномасштабных съемок, трассирования линейных сооружений и других видов инженерных изысканий. ОГС и съемочные сети могут служить геодезической основой строительства в случаях, если точность положения пунктов и их плотность позволяют выполнять разбивочные работы в соответствии с требованиями проектной документации и свода правил [2]. Для обеспечения строительства крупных площадных объектов (промышленных предприятий, нефтеперерабатывающих заводов, электростанций и т. д.), как правило, заново создается геодезическая разбивочная основа (ГРО), так как изыскательские пункты не удовлетворяют потребностям строительства ни по плотности, ни по точности, и, зачастую, утрачиваются к началу работ на площадке или в процессе земляных работ.

В настоящее время при создании геодезических сетей широкое распространение получил метод ГНСС [3–5]. Применение наземных методов может быть оправдано при создании плано-высотного обоснования на небольших территориях, а также в случаях, когда применение ГНСС метода осложнено местными условиями (высокие деревья, плотная застройка и т. д.) [6]. При создании ГРО спутниковым методом, как правило, определяют плановое положение пунктов, а высоты находят из геометрического нивелирования, так как для получения нормальных высот из спутникового нивелирования требуется знание модели геоида на район работ [7]. В статье предлагается создавать ГРО на небольших участках под строительство (до 1–2 км²) наземными методами, путем построения линейно-угловых сетей или системы ходов по трехштативной системе с одновременным определением высот пунктов из двухстороннего тригонометрического нивелирования. Одновременное создание планового и высотного обоснования позволяет ускорить полевой этап создания ГРО, однако дей-

ствующие своды правил [1, 8] предполагают выполнение тригонометрического нивелирования лишь с технической точностью.

Методы и материалы

Проведем сравнительный анализ геодезических сетей, создаваемых для обеспечения инженерных изысканий (ОГС) и выполнения разбивочных работ (ГРО), на территории Российской Федерации (табл. 1).

Таблица 1

Основные характеристики ОГС и ГРО

Характеристики	Вид геодезического обоснования	
	ОГС	ГРО
Назначение сети геодезических пунктов	геодезическое обеспечение производства инженерных изысканий	обеспечение разбивочных работ (вынос в натуру основных, главных осей зданий и сооружений), исполнительные съемки
Нормативные документы, регламентирующие создание сети	СП 11-104-97 [1] СП 317.1325800.2017 [8]	СП 126.13330.2017 [2]
Методы создания	триангуляция, трилатерация, линейно-угловые построения, полигонометрия, спутниковые сети, а также сочетание методов	микротриангуляция, микротрилатерация, линейно-угловые построения (строительные сетки, линейно-угловые сети), полигонометрия, засечки, спутниковые сети, а также сочетание методов
Предельная ошибка взаимного планового положения смежных пунктов	50 мм [1]	50 мм*
Плотность пунктов на 1 км ² : – на застроенных территориях – на незастроенных территориях	не менее 4 1	16* 4*

Примечание. *Для предприятий и группы зданий (сооружений) на участках площадью более 1 км², отдельно стоящих зданий (сооружений) с площадью застройки более 100 тыс. м² [2].

Поскольку ОГС может создаваться разными методами и с различной точностью (в зависимости от назначения), то предельная ошибка взаимного положения смежных пунктов 5 см не может служить универсальным критерием

точности. В своде правил [8] этот недостаток учтен и на основании [9] сделано уточнение для сетей, создаваемых ГНСС методом: для каркасных спутниковых геодезических сетей (КСГС) и спутниковых геодезических сетей сгущения (СГСС) указаны средние квадратические ошибки (СКО) взаимного положения смежных пунктов 15 и 20 мм соответственно. Кроме того, для плановых сетей, создаваемых с точностью 4-го класса, СКО взаимного положения смежных пунктов не должна превышать 25 мм, а для сетей 1-го и 2-го разрядов – 30 и 40 мм соответственно.

Исходя из величин предельных ошибок взаимного положения смежных пунктов (см. табл. 1), можно сделать вывод о том, что ОГС и ГРО создаются с одинаковой точностью – однако такой вывод будет преждевременен. Это связано с разной плотностью пунктов при создании изыскательской сети и геодезической разбивочной основы. Так, при плотности пунктов ГРО 16 штук на 1 км^2 среднее расстояние между пунктами составит около 300 м. При относительной точности линейных измерений $1 : 25\,000$ абсолютная СКО стороны сети составит 12 мм, а предельная ошибка – 24 мм. Принимая во внимание, что стороны при создании ГРО измеряются электронными тахеометрами с СКО 1,5–3,0 мм значение предельной ошибки взаимного положения пунктов 50 мм является на порядок завышенным [10].

При современном уровне развития измерительной техники не совсем корректно выражать точность линейных измерений в относительной мере, как это делается в своде правил [2]. В табл. 2 представлены абсолютные ошибки измерения длин линий, соответствующие разным уровням относительной точности.

Таблица 2

Связь относительной точности и абсолютных ошибок линейных измерений

Относительная точность измерения длин линий	Абсолютные ошибки измерения сторон сети, мм, при их длине				
	50 м	100 м	250 м	500 м	1 000 м
1 : 25 000	2	4	10	20	40
1 : 10 000	5	10	25	50	100
1 : 5 000	10	20	50	100	200

Так, при измерении линии с точностью $1 : 25\,000$ абсолютная ошибка в зависимости от ее длины изменяется от 2 до 40 мм. В то же время известно, что электронные тахеометры при визировании на отражатель позволяют измерять расстояния с ошибкой 1,5–2,0 мм + 2 мм/км. Таким образом, применение тахеометров позволяет обеспечить необходимую точность измерения расстояний величиной более 50 м во всех случаях [10].

Согласно своду правил [2], при создании ГРО для обеспечения строительства предприятий и группы зданий на участке площадью более 1 км^2 , угловые измерения следует выполнять с точностью $3''$, а линейные измерения с относительной точностью $1 : 25\,000$. Данные показатели соответствуют точности го-

родской полигонометрии 4-го класса [11]. Обратим внимание, что полигонометрия 4-го класса, создаваемая в городах, несколько отличается от полигонометрии 4-го класса государственной сети (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение государственной и городской полигонометрии IV класса

Основные показатели	Полигонометрия 4-го класса при создании	
	государственной сети (ГГС) [12]	городской сети [11]
Длина сторон хода, км:		
– наибольшая	2,00	2,00
– наименьшая	0,25	0,25
СКО измерения угла (по невязкам ходов), не более	2,0"	3,0"
Число приемов при измерении углов прибором типа Т2	9	6
СКО измерения длины стороны:		
– до 500 м	±2,0 см	до 3 см
– от 500 до 1 000 м	±3,0 см	
– свыше 1 000 м	1 : 40 000	
Относительная погрешность хода, не более	1 : 25 000	1 : 25 000

При создании ГРО на строительной площадке длины сторон ходов или линейно-угловых сетей, как правило, меньше 250 м, что не соответствует требованиям инструкций по полигонометрии 4-го класса. Строго говоря, ГРО должна создаваться с точностью угловых и линейных измерений, соответствующей городской полигонометрии 4-го класса. Рассчитаем допустимую величину внецентренности тахеометра l по формуле [13]

$$l = \frac{c'' \cdot S}{206\,265'' \cdot \sin \theta}, \quad (1)$$

где S – расстояние до наблюдаемой визирной цели, м,

c – ошибка в измерении угла за внецентренность тахеометра, с,

θ – угол, измеряемый по ходу часовой стрелки от направления на центр пункта до направления на наблюдаемый предмет.

Чтобы ошибкой за центрирование тахеометра можно было пренебречь значение угла c не должно превышать половину СКО измерения угла $m_{\beta} = 3''$.

При $c = 1,5''$, $\sin \theta = 1$ и $S = 140$ м внецентренность тахеометра составит $l = 1$ мм, что обеспечивается применением оптического или лазерного центрира. Следовательно, при тщательном центрировании тахеометра ($l < 1$ мм) минимальная длина стороны в ходе (сети) может быть принята 140 м.

При необходимости создания более плотной сети пунктов ГРО следует воспользоваться методом засечек. Положение промежуточного пункта ГРО $p1$ может быть определено полярным способом относительно одного из пунктов основной (каркасной) сети. Для выполнения контроля координаты пункта $p1$ следует определять дважды: с пунктов 1 и 2 (рис. 1).

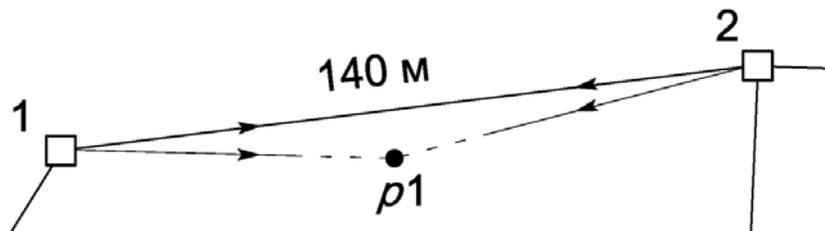


Рис. 1. Фрагмент ГРО при координировании промежуточного пункта

Чтобы уменьшить влияние ошибок за центрирование тахеометра и визирных целей над знаками пунктов ГРО при коротких длинах сторон (до 200 м), в отдельных случаях применяют пункты с принудительным центрированием или специальные столики с винтом для принудительного центрирования, закрепляемые на несущих строительных конструкциях (опорах эстакад и пр.) [3, 14].

Для построения плановых линейно-угловых сетей целесообразно выполнять их проектирование в программе CredoDAT. Используя в качестве подложки генеральный план строящегося объекта, намечают предварительное расположение пунктов ГРО в местах обеспечивающих:

- взаимную видимость на смежные пункты;
- сохранность пунктов (вне зоны котлованов, проездов, мест складирования строительных материалов);
- удобство выполнения разбивочных работ.

На рис. 2 показан пример проектирования ГРО на территории ГРЭС. В программе Credo DAT двум пунктам, расположенным в центре сети, присваивается статус исходных, а всем остальным – предварительных. В программе задаются измеряемые направления и стороны, а также точность их измерения, после чего в режиме проектирования производится предрасчет точности сети. Полученные в результате предрасчета СКО положения пунктов сети для заданного уровня достоверности, а также ошибки взаимного положения смежных пунктов сравниваются с допустимыми значениями. При необходимости повысить точность плановой сети повышают точность измерения ее элементов, либо добавляют в схему сети избыточные измерения (например, диагонали в четырехугольниках, показанные на рис. 2 пунктиром).

На местности два исходных пункта могут быть определены из ГНСС измерений, а линейно-угловая сеть уравнена как свободная. При значительной площади строительной площадки (несколько квадратных километров) целесообразно создавать каркасную спутниковую сеть, сгущение которой выполнять линейно-угловыми построениями или системами ходов.

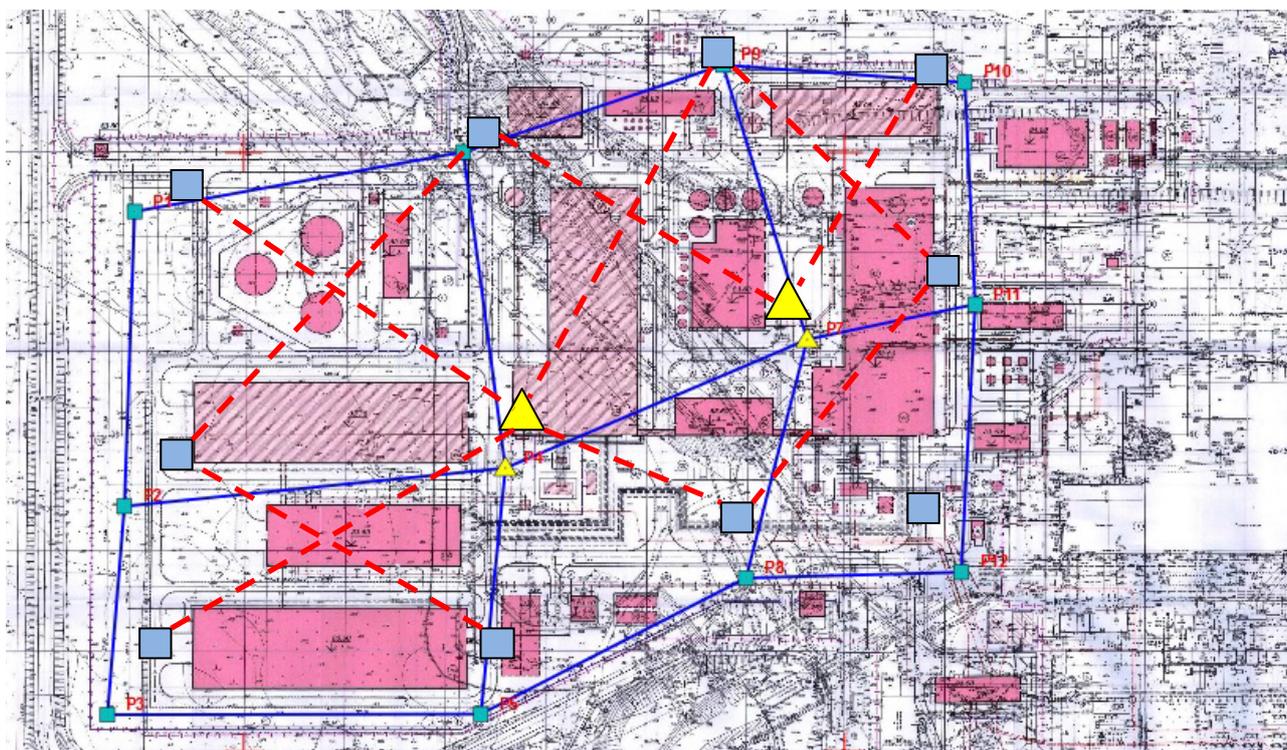


Рис. 2. Проектирование схемы ГРО в программе CredoDAT

Отметки пунктов ГРО, как правило, определяют из нивелирования III или IV классов. Проложение отдельно ходов геометрического нивелирования занимает дополнительное время, а на всхолмленной или пересеченной местности, кроме того, связано с большим числом перестановок нивелира. В этом отношении более рационально определять отметки пунктов из двухстороннего тригонометрического нивелирования, выполняемого одновременно с созданием плановой основы по трехштативной системе [15–18].

Обратимся к вопросу точности нивелирования наклонным лучом. Еще в инструкции [19] для тригонометрического нивелирования установлена допустимая невязка по ходам и в замкнутых полигонах, равная

$$f_{\text{доп}} = 0,04 \text{ см} \cdot S\sqrt{n}, \quad (2)$$

где S – средняя длина линии, м; n – число линий.

Там же [19, §290] указано, что расхождение между прямым и обратным превышениями для одной и той же стороны не должно превышать 4 см на каждые 100 м расстояния. Примечательно, но эти требования не изменились даже спустя полвека и были включены в свод правил [1].

Предполагая, что угол наклона измеряется с ошибкой 30", обусловленная этим ошибка измерения превышения в прямом направлении составит 14,5 мм. Следовательно, СКО разности из превышений прямо и обратно будет равна $14,5\sqrt{2} = 20,5$ мм. Тогда предельная ошибка разности составит приблизительно

40 мм, т. е. те самые 4 см на 100 м расстояния. Очевидно, что при измерении углов наклона современными тахеометрами с точностью 2–5" предельное расхождение между прямым и обратным превышением ожидается значительно меньшим.

В своде правил [8] предлагается допустимые расхождения между превышениями по линии, полученными в прямом и обратном направлении, вычислять по формуле

$$f_{\text{доп по линии}} = \pm 50 \text{ мм} \cdot \sqrt{2l}, \quad (3)$$

где l – длина линии, км.

При длине линии 100 м, допуск, посчитанный по формуле (3), составит 22 мм, что практически в два раза меньше значения, полученного по формуле (2). Однако допуски, рассчитываемые по формулам (2) и (3), учитывают только инструментальные погрешности при измерении углов наклона, а влияние внешних условий не принимается во внимание. В статье [20] приводятся данные: при расстоянии между точками $S \approx 400$ м расхождение между превышениями, измеренными в прямом и обратном направлении, с учетом влияния вертикальной рефракции составило 79 мм (коэффициент рефракции $k = -3,3$). Среднее из превышений в двух направлениях согласуется с данными из высокоточного геометрического нивелирования. Тем не менее, используя допуск $f_{\text{доп по линии}} = 45$ мм, полученный по формуле (3), указанные в [20] результаты измерений пришлось бы забраковать. Представим в табл. 4 допуски на разности между превышениями по линии, измеренными в прямом и обратном направлении, а также приведем значения удвоенных поправок за рефракцию, которые могут содержаться в указанных разностях.

Таблица 4

Допуски на расхождение прямого и обратного превышений по линии

Параметр	Значение параметра, мм при длине линии				
	50 м	100 м	200 м	300 м	400 м
40 S мм, где S – длина линии в сотнях метров	20	40	80	120	160
50 мм · $\sqrt{2l}$, где l – длина линии в км	16	22	32	39	45
Удвоенное значение поправки за рефракцию при ее коэффициенте k :					
0,14	0,1	0,2	0,9	2,0	3,5
3,0	1,2	4,7	19,0	42,7	75,9
6,0	2,4	9,5	38,0	85,4	151,8

Как видно из табл. 4, допуск на расхождение между прямым и обратным превышениями 4 см на 100 м длины весьма лояльный и превышает составляющую за рефракцию в разностях даже при экстремальных коэффициентах рефракции $k \approx 6,0$. В то же время при допуске, вычисляемом по формуле (3), могут быть забракованы результаты измерений при длине линий более 200 м. Данный допуск применим в пасмурную погоду, когда влияние рефракции несущественно. К обоим допускам следует относиться с осторожностью и дополнительно контролировать качество измерений по невязкам в полигонах и разностям между превышениями из двух приемов.

Среднюю квадратическую ошибку превышения $m_{h_{дв}}$ из двухстороннего нивелирования, обусловленную инструментальными погрешностями, можно получить по формуле

$$m_{h_{дв}} = \sqrt{\sin^2 \alpha \cdot m_s^2 + \frac{S^2 \cdot m_\alpha^2}{2 \cdot \rho^2}}, \quad (4)$$

где m_s – СКО измерения наклонного расстояния; m_α – СКО измерения угла наклона полным приемом; $\rho = 206\,265''$ – число секунд в радиане.

В формуле (4) не учитываются остаточное влияние рефракции, а также ошибки измерения высоты инструмента. Произведем предрасчет точности по формуле (43) принимая $m_s = 2,0$ мм, $\alpha = 6^\circ$ (пересеченный рельеф), результаты представим в табл. 5.

Таблица 5

Точность двухстороннего тригонометрического нивелирования

m_α	Ошибки превышения $m_{h_{дв}}$, мм, при длине линии				Ошибки превышения $m_{h_{км}}$ на 1 км хода, мм, при длине линий			
	100 м	200 м	300 м	400 м	100 м	200 м	300 м	400 м
1''	0,40	0,72	1,05	1,39	1,26	1,61	1,92	2,20
2''	0,72	1,39	2,07	2,75	2,28	3,11	3,78	4,35
3''	1,05	2,07	3,09	4,12	3,32	4,63	5,64	6,51
5''	1,73	3,43	5,15	6,86	5,47	7,67	9,40	10,85
7''	2,41	4,80	7,20	9,60	7,62	10,73	13,14	15,18

По инструкции [21] случайная СКО для нивелирования III класса не должна превышать 5 мм/км, для IV класса – 10 мм/км. Из табл. 5 следует, что точность III класса достигается при измерении углов наклона с ошибкой не более 3'' и длине сторон до 200 м. Для обеспечения точности нивелирования IV класса СКО угла наклона не должна превышать 5'', а длина сторон 300 м. Превышения следует измерять при двух положениях вертикального круга и выполнять не менее двух приемов. Время между измерениями по линии в прямом и обратном направлении следует ограничивать, чтобы соблюсти однородность условий при прохождении визирного луча. При проложении хода по трехштативной

системе ошибки измерения высоты тахеометра и отражателя не будут накапливаться.

Оценим влияние ошибки измерения высоты тахеометра на определение отметки i -го пункта хода (сети). Для этих целей были выполнены лабораторные исследования. Относительно пунктов геодезической сети, закрепленной в виде пленочных отражателей на стенах лаборатории, была определена отметка точки на полу. Затем выполнялось центрирование тахеометра над точкой, и его высота определялась из обратной линейно-угловой засечки. Эталонное значение высоты прибора было получено как разность высоты инструмента из засечки и ранее определенной отметки точки на полу.

В дальнейшем высота прибора измерялась тремя способами: лазерной рулеткой (рис. 3, *а*), обычной стальной рулеткой и специальной рулеткой Leica GNM007 для измерения высоты прибора (рис. 3, *б*). Каждым способом выполнялось 25 измерений, СКО вычислялась по формуле Бесселя (по внутренней сходимости). В исследованиях моделировалось два случая: когда точка находится на уровне пола и на высоте +0,47 м. Второй случай характерен для установки тахеометра над изыскательскими геодезическими знаками (пнем срубленного дерева или стальным уголком).

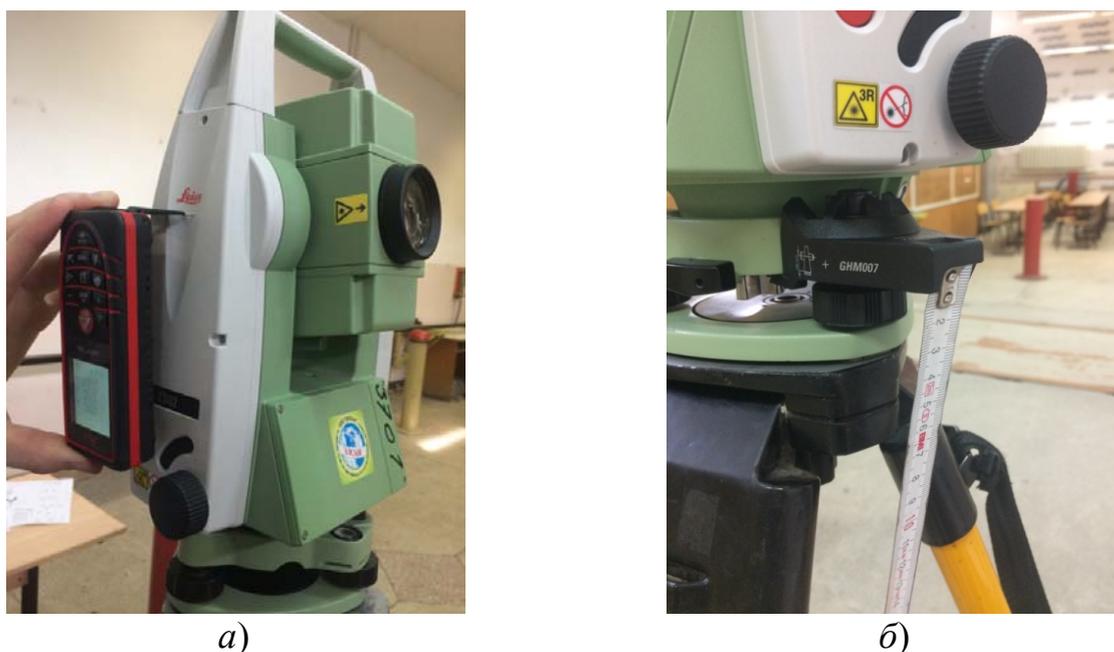


Рис. 3. Схема измерения высоты инструмента лазерной рулеткой (*а*) и специальной рулеткой Leica (*б*)

На рис. 4 показано отличие высоты инструмента $h_{i \text{ накл}}$, измеряемой стальной рулеткой под наклоном, и истинной высоты прибора $h_{i \text{ ист}}$. По расчетам, измеренное под наклоном значение высоты прибора на 2–3 мм больше истинного.

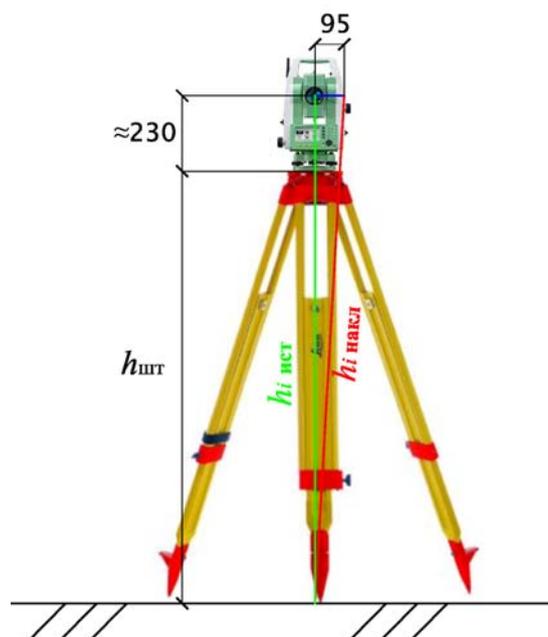


Рис. 4. Схема различия истинной и измеренной (наклонной) высот тахеометра

Результаты

Результаты измерений высоты тахеометра разными способами представлены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты измерения высоты тахеометра

Параметр	Измерение до пола			Измерение до уровня +0,47 м		
	лазерная рулетка	стальная рулетка	рулетка Leica GHM007	лазерная рулетка	стальная рулетка	рулетка Leica GHM007
Измеренная высота инструмента, мм	1 564,3	1 565,5	1 560,7	1 089,6	1 091,5	1 086,4
СКО измерения, мм	±1,5	±0,5	±0,4	±0,6	±0,5	±0,4
Эталон, мм	1 561,7			1 087,0		
Разность с эталонным значением, мм	+2,6	+3,8	-1,0	+2,6	+4,5	-0,6

Из табл. 6 следует, что измерение высоты инструмента под наклоном характеризуется систематической ошибкой величиной от +2,6 до +4,5 мм. Расчетная величина наклонной высоты инструмента составила 1 564,9 м и 1 091,1 м, что согласуется с фактически полученными при измерениях стальной рулеткой значениями. Рулетка Leica, благодаря своей конструкции, позволяет получить высоту инструмента с ошибкой не более 1,0 мм.

Обсуждение

Создание ГРО на территории строительства регламентируется сводом правил [2]. Требования к точности создания плановой и высотной основы строительства нельзя признать обоснованными, так как величины средних квадратических ошибок измерений не согласуются с предельными ошибками взаимного положения смежных пунктов. Требования к точности создания высотных сетей на строительной площадке в своде правил [2] представлены двусмысленно: одно и то же значение СКО относится к определению превышения на 1 км хода и к определению отметок смежных пунктов, что некорректно. Поскольку допуски из свода правил [2] нельзя признать обоснованными, точность измерений при создании ГРО следует принимать на основании проекта производства геодезических работ (ППГР). При разработке ППГР следует выполнять предрасчет точности измерений для каждого конкретного объекта, для чего целесообразно использовать специальные программные продукты, например CredoDAT.

Метод двухстороннего тригонометрического нивелирования, выполняемый по трехштативной системе, позволяет развивать высотные сети с точностью III–IV класса. При этом допуски на разность превышений по линии в прямом и обратном направлении, указанные в сводах правил [1, 8], не учитывают влияние вертикальной рефракции, поэтому часть измерений может быть необоснованно забракована. Более корректно производить оценку качества измерений по невязкам в замкнутых фигурах и разностям превышений, полученных из двух-трех приемов. Измерение высоты прибора специальной рулеткой Leica может быть выполнено с ошибкой до 1 мм, что не окажет существенного влияния на значение отметки i -го пункта хода двухстороннего тригонометрического нивелирования.

Заключение

Грамотная комбинация наземных и спутниковых методов построения геодезических сетей позволяет оперативно создавать планово-высотное обоснование на территории строительства крупных площадных объектов с необходимой точностью [23].

На основании выполненных исследований можно сформулировать следующие выводы.

1. Проектирование и предрасчет точности ГРО рекомендуется выполнять в программном продукте CredoDAT с использованием в качестве подложки проектного генерального плана строящегося предприятия.

2. Создание планового и высотного геодезического обоснования крупных площадных объектов экономически целесообразно выполнять совместно: плановое обоснование в виде линейно-угловых построений по трехштативной системе с точностью городской полигонометрии 4-го класса, а высотное обоснование методом двухстороннего тригонометрического нивелирования с точностью III–IV класса при длине визирного луча до 200–300 м.

3. При создании ГРО с точностью городской полигонометрии 4-го класса минимальная длина стороны может быть уменьшена с 250 до 140 м, если центрирование выполнять с ошибкой не более 1 мм.

4. Допустимое расхождение между превышениями, измеренными по линии в прямом и обратном направлении, не всегда могут служить объективным критерием качества выполненных измерений, так как на указанные расхождения влияет вертикальная рефракция. Коэффициент рефракции может находиться в пределах от $-6,0$ до $+6,0$ [20, 22], из-за чего разности между превышениями «прямо» и «обратно» могут быть значительными по величине. Поэтому качество результатов тригонометрического нивелирования следует также оценивать по невязкам замкнутых фигур и по разности превышений, полученных из двух-трех приемов.

5. Измерение высоты прибора под наклоном с помощью стальной или лазерной рулетки вносит в результат систематическую ошибку величиной 2,5–4,5 мм. Применение специальной рулетки Leica позволяет измерять высоту инструмента с ошибкой не более 1,0 мм.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. – М. : ФГУП ЦПП, 2005. – 76 с.

2. СП 126.13330.2017. Геодезические работы в строительстве / Утв. и введен в действие приказом Минстроя России от 24 октября 2017 г. № 1469/пр. – М. : Минстрой России, 2017. – 67 с.

3. Создание геодезической основы для строительства объектов энергетики / Г. А. Уставич, Г. Г. Китаев, А. В. Никонов, В. Г. Сальников // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 48–54.

4. Никоноров В. Б. Проблемы создания опорного планово-высотного геодезического обоснования для обеспечения строительства метрополитенов и тоннелей с использованием глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) // Метро и тоннели. – 2015. – № 5. – С. 24–27.

5. Создание геодезических разбивочных сетей для обеспечения строительства вантовых мостов в г. Владивостоке / Е. С. Богомоллова, М. Я. Брынь, В. Н. Иванов [и др.] // Инженерные изыскания в строительстве: материалы Двенадцатой Общероссийской конференции изыскательских организаций. – М. : ООО «Геомаркетинг», 2016. – С. 111–115.

6. Яхман В. В. Комбинированный метод создания городской геодезической основы // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геоде-

зия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 56–59.

7. Гиенко Е. Г., Решетов А. П., Струков А. А. Исследование точности получения нормальных высот и уклонов отвесной линии на территории Новосибирской области с помощью глобальной модели геоида EGM2008 // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 1, ч. 2. – С. 181–186.

8. СП 317.1325800.2017. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. – М. : Минстрой России, 2017. – 79 с.

9. ГКИНП (ОНТА)-01-271-03. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС/GPS: утв. Роскартографией 13.05.2003 № 84-пр. – М. : ЦНИИГАиК, 2003. – 182 с.

10. Никонов А. В. Проблема актуализации СП 126.13330.2017 «Геодезические работы в строительстве» // Геодезия и картография. – 2019. – Т. 80, № 4. – С. 9–19.

11. Тревого И. С., Шевчук П. М. Городская полигонометрия. – М. : Недра, 1986. – 199 с.

12. Инструкция по полигонометрии и трилатерации. – М. : Недра, 1976. – 104 с.

13. Топогеодезическая подготовка ракетных войск и артиллерии : учеб. пособие для офицеров. ДСП. – М. : Воениздат, 1966. – 260 с.

14. Методика развития ПВО с использованием элементов строительных конструкций / Г. Г. Китаев, В. Г. Сальников, Н. М. Рябова, Е. Л. Соболева // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр., 8–18 апреля 2014 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 7–13.

15. Никонов А. В. Технологические схемы при проложении ходов тригонометрического нивелирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр., 8–18 апреля 2014 г., Новосибирск : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 1. – С. 77–83.

16. Rüeger J. M., Brunner F. K. Practical results of EDM-height traversing // The Australian Surveyor. – 1981. – Vol. 30. – P. 363–372.

17. Rüeger J. M., Brunner F. K. EDM-height traversing versus Geodetic Levelling // The Canadian Surveyor. – 1982. – Vol. 36 (1) – P. 69–88.

18. Rüeger J. M. EDM-Height Traversing: Refraction Correction and Experiences // The Australian Surveyor. – 1995. – Vol. 40, No. 4. – P. 48–56.

19. Инструкция по городским съемкам / Утв. приказом по Народному Комиссариату Коммунального хозяйства РСФСР от 26 августа 1939 г. №617 – М., 1940. – 184 с.

20. Никонов А. В. Исследование влияния вертикальной рефракции на результаты тригонометрического нивелирования короткими лучами способом из середины // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2014. – № 1. – С. 28–34.

21. Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов. ГКИНП (ГНТА)–03-010-03.2004. – М. : ЦНИИГАиК, 2004. – 226 с.

22. Островский А. Л. Достижения и задачи рефрактометрии // Геопрофи. – 2008. – № 1. – С. 6–15.

23. Nikonov A. V., Kosarev N. S., Solnyshkova O. V., Makarikhina I. V. Geodetic base for the construction of ground-based facilities in a tropical climate // E3S Web Conferences : Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018). – 2019. – Vol. 91. – P. 07019.

© А. В. Никонов, И. Н. Чешева, 2019