

УДК 528.412.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ ИСХОДНОЙ ГЕОДЕЗИЧЕСКОЙ ОСНОВЫ НА ТОЧНОСТЬ ОБРАТНОЙ ЛИНЕЙНО-УГЛОВОЙ ЗАСЕЧКИ

Антон Викторович Никонов

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, e-mail: sibte@bk.ru

Ирина Николаевна Чешева

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

Галина Викторовна Лифашина

Сибирская государственная геодезическая академия, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, старший преподаватель кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-55

В статье приведены результаты лабораторных исследований, которые показывают, с какой точностью программным обеспечением тахеометра вычисляются координаты определяемого пункта в результате решения обратной линейно-угловой засечки от трех исходных пунктов, в зависимости от направления и величины смещения одного из исходных пунктов.

Ключевые слова: обратная засечка, точность, тахеометр, разбивочные работы.

THE ANALYSIS ACCURACY OF RESECTION UNDER INSTABILITY GEODETIC BASE

Anton V. Nikonov

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., Ph.D. student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, e-mail: sibte@bk.ru

Irina N. Chesheva

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., senior lecturer, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

Galina V. Lifashina

Siberian State Academy of Geodesy, 630108, Russia, Novosibirsk, 10 Plakhotnogo St., senior lecturer, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, tel. (383)343-29-55

The article presents results of laboratory studies accuracy of resection with electronic total station. Measurements of angles and lines was performed on the three geodetic base points. One of the three base points shifted by 5-10 mm in magnitude.

Key words: resection, accuracy, total station, layout of control.

Обратная линейно-угловая засечка с использованием электронных тахеометров находит широкое применение в геодезическом производстве. В

основном она используется при проведении разбивочных и съемочных работ на строительной площадке, так как в этом случае тахеометр может быть установлен в непосредственной близости от объекта строительства, а его местоположение может быть определено с высокой точностью [1-4]. Также метод обратной засечки хорошо зарекомендовал себя при работе в цехе, когда необходимо устанавливать оборудование в проектное положение с точностью до 1 – 2 мм.

Известно, что средняя квадратическая ошибка геодезических измерений при разбивочных работах не должна превышать 35% строительного допуска [5]. Допустимое предельное отклонение анкерных болтов в плане (внутри контура опоры) не должно превышать 5 мм [6]. Из этого следует, что к точности разбивочных работ предъявляются высокие требования.

Результаты исследований точности обратной засечки при расположении определяемого пункта на расстоянии до 50 м от исходных изложено в [7]. На производстве нередко случаи нарушения стабильности геодезической основы. Грунтовые пункты могут изменять свое первоначальное положение под действием сил морозного пучения [8], а также нередко повреждаются в процессе земляных работ. Пункты, закрепляемые в виде отражательных пленок (ОП) на сооружениях (опоры ЛЭП, столбы) также могут смещаться вследствие деформации сооружений под действием ветровой нагрузки или солнечной радиации. Чтобы исследовать влияние смещения одного из трех пунктов геодезической основы при производстве обратной линейно-угловой засечки нами были проведены лабораторные исследования. Размеры помещения ограничили расстояния до исходных пунктов в пределах 20 м. Такие условия схожи с условиями внутри производственных цехов [9]. Исследования могли быть выполнены путем расчетов, аналогично работе [10], однако еще одна из целей наших опытов – проверка адекватности СКО положения пункта, вычисляемая микрокомпьютером тахеометра.

На начальном этапе эксперимента в лаборатории №31 СГГА была создана геодезическая сеть, пункты которой были закреплены на стенах в виде светоотражающих пластин (ОП) [11]. Координаты пунктов были получены в условной системе координат (СК), оси которой параллельны стенам помещения. Координаты ОП определялись с одной станции, поэтому можно считать, что взаимное положение этих пунктов определено с ошибками, не превышающими 1 мм.

На втором этапе исследований электронный тахеометр Leica TS-02 был установлен на штативе (Ст.1), координаты станции были определены способом обратной линейно-угловой засечки от трех пунктов опорной сети (*Op1*, *Op2*, *Op4*) в соответствии с рис. 1.

Вычисленные микрокомпьютером тахеометра координаты определяемой станции 1 приведены в табл. 1.

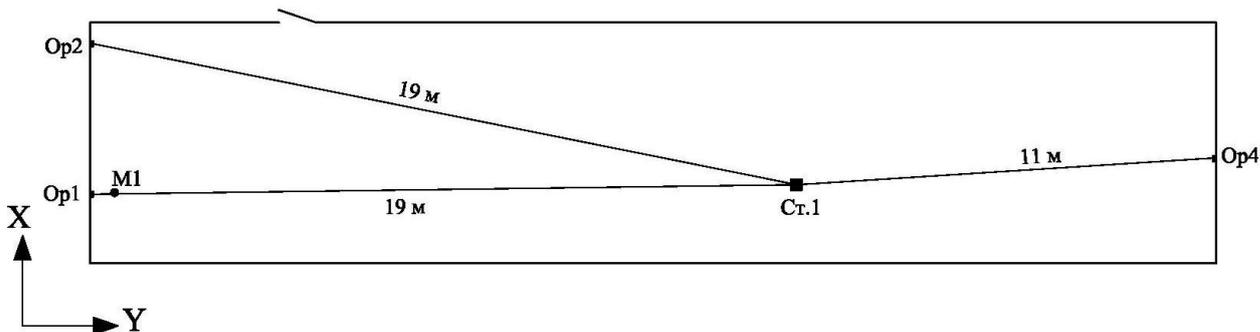


Рис. 1. Схема обратной линейно-угловой засечки

Таблица 1

Результаты засечки от исходных пунктов

Определяемая точка	X , м	Ошибка X , мм	Y , м	Ошибка Y , мм	Угловая ошибка m_B , "	Пункты, участвующие в засечке
Ст.1	98,6948	0,2	197,9950	0,2	1,3	<i>Op1, Op2, Op4</i>
Ст.1	98,6949	0,4	197,9951	0,4	3,8	<i>M1, Op2, Op4</i>
Ст.1	98,6947	0,5	197,9952	0,5	0,8	<i>Op2, Op4</i>

После этого, путем измерений на пункт *M1* были найдены его координаты в СК лаборатории. Данный пункт представляет собой отражатель, закрепленный на специально изготовленной платформе, с возможностью изменять его плановое положение в двух взаимно перпендикулярных направлениях с точностью до 0,1 мм. Затем вновь производилась обратная линейно-угловая засечка от трех пунктов: *Op2, Op4* и вновь определенного пункта *M1* (табл. 1). Несмотря на то, что координаты станции (Ст.1) практически не изменились, точность угловых измерений несколько снизилась, из-за ошибок определения координат пункта *M* и собственно засечки.

В последующем производились определения координат станции тахеометра (Ст. 1) при различных положениях подвижного отражателя (*M1*). Всего было выполнено 17 определений со смещением марки в диапазоне: $-10 \div +10$ мм по оси X ; $-4 \div +5$ мм по оси Y (рис. 2). Результаты измерений представлены в табл. 2. Величины Δ из графы 3 табл. 2 найдены, как разность вычисленных ПО тахеометра координат станции Ст.1 и значений координат Ст.1, которые приняты за истинные (табл. 1).

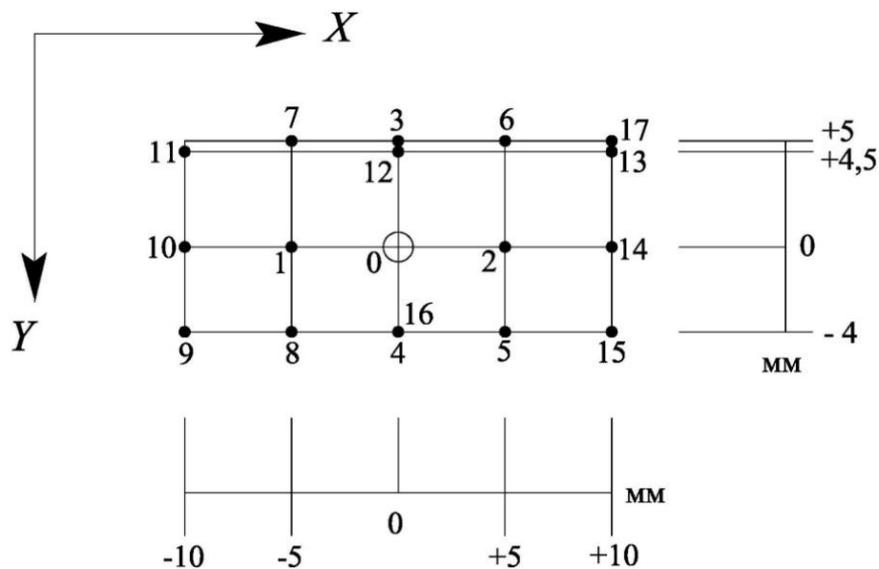


Рис. 2. Схема смещений исходного пункта MI

Сначала проанализируем результаты засечки при смещении пункта MI отдельно вдоль оси X (позиции 1, 2, 10, 14) и вдоль оси Y (позиции 3, 4, 12, 16).

1. Очевидно, что при изменении положения пункта MI вдоль оси X (Y), искажается абсцисса (ордината) станции Ст.1.

2. Величина искажений координаты X (Y) станции в конкретном случае в 5 (3) раз меньше, чем величина смещения исходного пункта MI . Если смещать пункт MI не на 5 мм (позиции 1, 2), а на 10 мм (позиции 10, 14), то и ошибка определения координаты X станции увеличится в два раза (с 1,0 до 2,0 мм).

3. Знак ошибки в координатах станции противоположен знаку смещения пункта MI . Например, если произвести смещение пункта MI вдоль оси X со знаком «плюс» (позиции 2, 14), то абсцисса Ст.1 будет содержать ошибку со знаком «минус».

4. Смещения MI по оси X на величины ± 5 мм (позиции 1, 2), вносят ошибки в координаты станции меньше, чем при изменении положения пункта MI вдоль оси Y (позиции 3, 4): соответственно 1,0 и 1,5 мм.

Из анализа полученных разностей Δ (табл.2) при смещении пункта MI в обоих направлениях (позиции 5, 6, 7, 8, 9, 11, 13, 15) следует, что ошибки в определении координат станции Ст.1 присутствуют и в абсциссах, и в ординатах, при этом знак и величина ошибок не меняются.

Из сравнения разностей Δ , со значениями СКО положения определяемого пункта, которые рассчитываются программным обеспечением (ПО) тахеометра, видно, что первые всегда меньше вторых. Таким образом, оценка точности, производимая ПО тахеометра, вполне адекватна.

Таблица 2

Результаты обратной линейно-угловой засечки от пунктов *Op2*, *Op4*, *M1*

Положение пункта <i>M1</i>	Вычисленные ПО тахеометра координаты станции, м		Д, мм	Ошибки, оцениваемые ПО тахеометра							
				Ст. 1		<i>Op2</i>		<i>Op4</i>		<i>M1</i>	
				ДХ, ДУ	m_B , "	m_B , "	ДС, мм	m_B , "	ДС, мм	m_B , "	ДС, мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Смещения в диапазоне ± 5 мм											
1	X	98,6959	+1,0	1,7	20,5	+31,8	-0,1	-2,9	-0,7	-34,1	+0,1
	Y	197,9950	-0,1	1,5							
2	X	98,6939	-1,0	1,2	13,8	-21,0	-0,7	-0,1	-0,6	+23,3	-0,4
	Y	197,9951	0,0	1,0							
3	X	98,6950	+0,1	1,6	4,3	+7,1	-2,1	-4,6	+1,1	-6,1	+3,3
	Y	197,9968	+1,7	1,4							
4	X	98,6948	-0,1	1,4	2,3	+3,3	+0,9	+0,9	-2,0	-4,1	-2,8
	Y	197,9937	-1,4	1,2							
5	X	98,6938	-1,1	1,7	14,7	-22,8	+0,5	+2,0	-1,8	+24,5	-2,8
	Y	197,9939	-1,2	1,5							
6	X	98,6940	-0,9	1,9	13,4	-19,8	-2,4	-3,2	+1,2	+23,1	+3,1
	Y	197,9969	+1,8	1,6							
7	X	98,6960	+1,1	2,3	22,5	+35,5	-1,7	-6,0	+1,0	-36,9	+3,3
	Y	197,9966	+1,5	2,0							
8	X	98,6958	+0,9	2,1	20,7	+31,7	+1,1	-0,7	-2,0	-34,8	-2,4
	Y	197,9937	-1,4	1,8							
Смещения в диапазоне $\pm(5\div 10)$ мм											
9	X	98,6968	+1,9	3,3	37,6	+57,8	+1,5	-2,0	-2,0	-63,1	-2,3
	Y	197,9935	-1,6	2,9							
10	X	98,6969	+2,0	3,1	38,8	+60,1	+0,1	-4,6	-0,6	-64,6	+0,5
	Y	197,9950	-0,1	2,7							
11	X	98,6970	+2,1	3,4	39,0	+60,8	-1,3	-7,1	+0,8	-64,4	+3,2
	Y	197,9964	+1,3	3,0							
12	X	98,6950	+0,1	1,4	4,6	+7,6	-1,8	-4,2	+0,9	-6,7	+2,8
	Y	197,9966	+1,5	1,2							
13	X	98,6930	-1,9	2,8	30,4	-46,2	-2,5	-1,4	+1,0	+51,7	+2,5
	Y	197,9968	+1,7	2,5							
14	X	98,6929	-2,0	2,5	31,0	-47,6	-1,0	+1,1	-0,5	+52,2	-0,4
	Y	197,9953	+0,2	2,2							
15	X	98,6928	-2,1	2,9	32,4	-50,1	+0,2	+3,5	-1,8	+54,0	-3,0
	Y	197,9940	-1,1	2,6							
16	X	98,6948	-0,1	1,3	2,7	+4,0	+0,9	+0,7	-1,9	-4,8	-2,7
	Y	197,9938	-1,3	1,2							
17	X	98,6930	-1,9	3,0	31,2	-47,4	-2,7	-1,7	+1,2	+53,1	+2,9
	Y	197,9970	+1,9	2,6							

После производства засечки от трех исходных пунктов: *Op2*, *Op4* и *M1* (положение 17), были взяты отсчеты по горизонтальному кругу при визировании на эти пункты. Полученные и теоретические отсчеты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Дирекционные углы на исходные пункты со станции Ст.1

Исходный пункт	После засечки (п.17)			После засечки (п.0)			Д, "	
	°	'	"	°	'	"		
<i>Op2</i>	280	52	58,4	280	53	36,0	-37,6	
<i>Op4</i>	86	48	39,8	86	49	17,5	-37,7	
<i>M1</i>	п.17	269	08	03,4	269	08	39,0	-35,6
	п. 0				269	06	40,1	

Из табл.3 видно, что сместив пункт *M1* вправо на 10 мм (из исходного положения (п.0) в положение 17 (п.17)), отсчет по горизонтальному кругу на этот пункт увеличился на 119". Из табл.3 также следует, что ориентирование прибора после подтверждения результатов засечки, нарушилась на -37". Это почти в три раза меньше, чем смещение пункта *M1*, выраженное в угловой мере. Точность угловых измерений, оцениваемая ПО тахеометра для положения 17 составляет 31,2" (табл. 2), что приблизительно равно зафиксированному нарушению ориентирования тахеометра.

Из этого следует, что значения m_{β} (графа 5 табл. 2) отражают ошибки ориентирования прибора вследствие смещения исходного пункта *M1*. Очевидно, что на ориентирование прибора оказывает влияние смещение исходного пункта в направлении, перпендикулярном визирной оси (в данном случае смещение вдоль оси *X*). Ошибкой ориентирования прибора не всегда можно пренебречь: 30" на расстоянии 20 м соответствуют 3 мм.

Программное обеспечение тахеометра кроме общей оценки засечки (графы 4, 5 табл. 2) рассчитывает погрешности для каждого пункта, участвующего в засечке (графы 6-11 табл. 2). Из анализа этих данных следует, что ошибки минимальны для пункта *Op4* во всех случаях. Для пунктов *Op2* и *M1* эти ошибки одного порядка, хотя для смещаемого пункта *M1* они всегда больше.

Если исключить пункт *M1* из засечки, оставив в качестве исходных *Op2* и *Op4*, то результаты засечки будут практически безошибочными (табл. 1).

Из выполненных исследований можно сделать несколько общих выводов относительно точности обратной засечки на малых (до 20 м) расстояниях:

1. При смещении одного из трех исходных пунктов на величины до 5 мм, ошибки координат станции, определяемой в ходе производства обратной линейно-угловой засечки, не превышают 2 мм, однако ориентирование инструмента может быть заметно нарушено (10 – 20"). В этом случае, координаты станции, вычисленные в ходе засечки, могут быть приняты к

работе, но необходимо дополнительно сориентировать прибор путем визирования на наиболее надежный и удаленный пункт. Исключение из засечки «поврежденного» пункта (*MI*) ведет к повышению точности засечки (засечка от двух стабильных пунктов).

2. При смещении исходного пункта на величины до 10 мм (в направлении перпендикулярном визирной оси), ошибки координат станции также не превосходят 2 мм, однако для рассматриваемых расстояний ошибка ориентирования прибора может составить 30 – 40 ''.

3. В общем случае ошибки координат определяемой точки в 3 раз меньше величины смещения одного из исходных пунктов, а ориентирование прибора нарушается на величину в 3 раза меньшую смещению исходного пункта в направлении, перпендикулярном визирной оси (в угловой мере).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Уставич Г. А., Китаев Г. Г., Никонов А. В., Сальников В. Г. Создание геодезической основы для строительства объектов энергетики // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 49–54.

2. Уставич Г. А., Ямбаев Х. К., Сальников В. Г., Никонов А. В. Технологическая схема разбивки и установки круговых рельсовых путей // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2013. – № 4/С. – С. 66–69.

3. Кошелев В. А., Карлин К. С., Чахлова А. П. Особенности развития геодезической разбивочной основы в условиях горной местности // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 87–92.

4. Новоселов Д. Б., Звягинцев Е. А. Использование Credo_DAT Mobile при разбивочных работах // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 113–116.

5. Видуев Н.Г., Ракитов Д.И., Подрезан В.В. Геодезические работы на строительной площадке. – М.: Геодезиздат, 1959. – 212 с.

6. СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции» – М: Госстрой СССР, 1989.

7. Никонов А. В. К вопросу о точности обратной линейно-угловой засечки на малых расстояниях // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 93–100.

8. Олейник А. М. Выбор мест закладки грунтовых реперов с учетом прогнозного изменения геокриологической обстановки от техногенной деятельности // ГЕО-Сибирь-2011. VII Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 19–29 апреля 2011 г.). – Новосибирск: СГГА, 2011. Т. 1, ч. 1. – С. 37–40.

9. Могильный С. Г., Шоломицкий А. А., Фролов И. С. Геодезический мониторинг и выверка металлургического оборудования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск: СГГА, 2013. Т. 1. – С. 132–143.

10. Лукин А. С., Портнов А. М. Геодезические засечки и их точность при производстве кадастровых работ // Вестник СГГА. – 2011. – Вып. 3 (16). – С. 53–59.

11. Афонин Д. А. Оптимизационная модель выбора схемы плановой геодезической разбивочной сети на застроенной территории // Геодезия и картография. – 2011. – № 9. – С. 16–22.

© А. В. Никонов, И. Н. Чешева, Г. В. Лифашина, 2014