

УДК 528.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ВИЗИРОВАНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ ЛИНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ОТРАЖАТЕЛЕЙ

К.И. МАРКОВИЧ; А.В. ВАЛЮШКИН
(Полоцкий государственный университет)

Представлен анализ погрешностей визирования и измерения линий, возникающих при нестрогом ориентировании геодезического отражателя на дальномер. Определена зависимость величины ошибки от условий ориентирования и конструкции отражателя. Сделан вывод, что использование призмных отражателей при выполнении инженерно-геодезических работ, а также применение пленочных отражателей при закреплении геодезических сетей для работ повышенной точности возможно лишь при строгом ориентировании их отражающей поверхности на дальномер.

Геодезические отражатели являются важными приспособлениями при производстве геодезических работ. Однако многие геодезисты при выборе оборудования пристальное внимание обращают на характеристики тахеометра, забывая о влиянии отражателя на точность измерений. Для выполнения высокоточных измерений необходимо учитывать всевозможные факторы влияния геодезических отражателей на измерение углов и расстояний.

Основными факторами, имеющими наибольшее влияние на результаты геодезических измерений, являются точность центрирования отражателя при сборке (соосность отражателя) и строгое ориентирование отражательной поверхности на дальномер [1].

Рассмотрим влияние погрешностей визирования и измерения линий, возникающих при нестрогом ориентировании призмных и пленочных отражателей на дальномер.

Исследование выполнялось в различное время для двух линий различной длины с учетом температуры и давления при выполнении серий.

Таблица 1 – Характеристики серий измерений

Серия	Измеряемое расстояние, м	Температура, °С		Давление, мм рт. ст.
		начало серии	конец серии	
1	50	9	6	749
2	100	15	13	747

Измерение линий выполнялось как на призмный, так и на пленочный отражатели с использованием электронного тахеометра Trimble M3 2013 DR5 с заявленной изготовителем погрешностью дальномера 2 мм + 2 ppm на призму и 3 мм + 2 ppm в безотражательном режиме [2].

В качестве визирных целей при выполнении измерений использовался призмный отражатель фирмы Leica серии GPH1 с заявленной изготовителем точностью центрирования в 2 мм [3], а также отражательная пленка фирмы ORAFOL размером 100 × 100 мм (рис. 1) [4].



Рисунок 1 – Конструкции визирных целей

Методика исследования состояла в выполнении измерений линий и направлений при развороте отражателей с заданным шагом в 10° в горизонтальной (призменный и пленочный отражатели), вертикальной (призменный) и горизонтально-вертикальной плоскостях (призменный). Во всех сериях измерения расстояний на призменный отражатель выполнялось в стандартном режиме дальномера STD, измерения на пленочный отражатель – в безотражательном режиме DR. Результаты усреднялись по трем значениям измерений. Исследование выполнялось в условной системе координат, в которой ось X совпадала с визирной линией на отражатель при расположении отражающей поверхности перпендикулярно (угол разворота отражателя равен 0).

Ниже представлены результаты измерения расстояний и направлений, полученные путем усреднения трех значений измерений. В таблицах 2–4 представлены данные эксперимента для расстояний 50 и 100 метров и разворота призмы в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Зависимости погрешностей измерения направлений и линий от угла разворота призмы показаны на рисунках 2–4.

Таблица 2 – Разворот призмы в горизонтальной плоскости ($S \approx 50, 100$ м)

Разворот призмы в горизонтальной плоскости										
Угол разворота	STD (на призму, $S \approx 50$ м)					STD (на призму, $S \approx 100$ м)				
	$\Delta\alpha$	Δz	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м	$\Delta\alpha$	Δz	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м
50°	$-14''$	$0''$	0	$-0,004$	0,001	–	–	–	–	–
40°	$-11''$	$-2''$	0	$-0,003$	0,001	$-10''$	$-1''$	$-0,001$	$-0,006$	0
30°	$-6''$	$-1''$	$-0,001$	$-0,001$	0,001	$-8''$	$2''$	$-0,003$	$-0,004$	0
20°	$-7''$	$-1''$	$-0,001$	$-0,002$	0,001	$-7''$	$-1''$	$-0,002$	$-0,004$	0,001
10°	$-5''$	$-2''$	0,001	$-0,001$	0,001	$-4''$	$2''$	$-0,002$	$-0,002$	$-0,001$
0°	$0''$	$90^\circ 05' 02''$	50,203	0,000	0,073	$0''$	$90^\circ 04' 47''$	100,118	0,000	0,139
-10°	$1''$	$-1''$	0,002	0,001	$-0,001$	$2''$	$1''$	$-0,002$	0,001	0
-20°	$2''$	$1''$	0,001	0	$-0,001$	$5''$	$-1''$	$-0,002$	0,002	$-0,001$
-30°	$3''$	$-1''$	0,001	0	$-0,001$	$7''$	$1''$	0,001	0,004	0
-40°	$4''$	$0''$	0	0,001	$-0,001$	$10''$	$2''$	0	0,007	0
-50°	$8''$	$0''$	0,001	0,002	$-0,001$	–	–	–	–	–

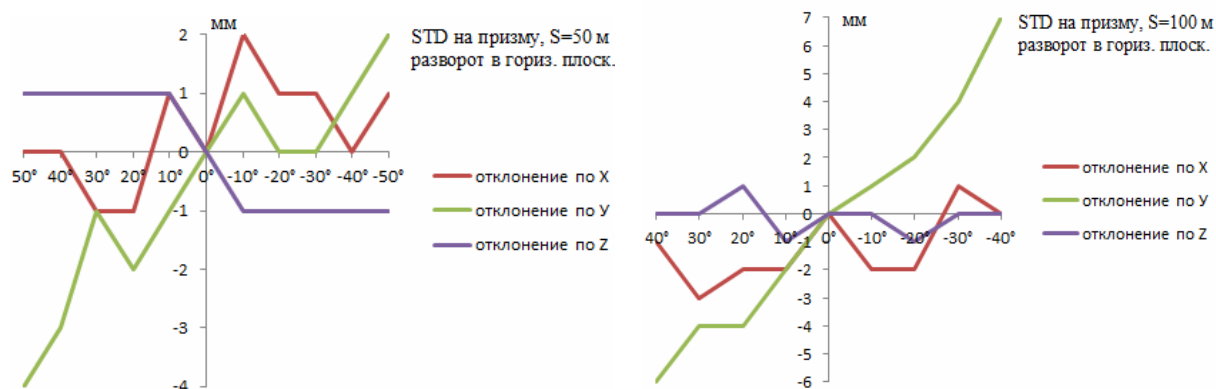


Рисунок 2 – Зависимость погрешности измерения направлений и линий от угла разворота призменного отражателя в горизонтальной плоскости

Таблица 3 – Разворот призмы в вертикальной плоскости ($S \approx 50$ и 100 м)

Разворот призмы в вертикальной плоскости										
Угол разворота	STD (на призму, $S \approx 50$ м)					STD (на призму, $S \approx 100$ м)				
	$\Delta\alpha$	Δz	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м	$\Delta\alpha$	Δz	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м
40°	$-1''$	$-8''$	$-0,001$	0	0,004	$0''$	$-4''$	0,001	0,001	0,002
30°	$0''$	$-7''$	0	0	0,003	$-1''$	$-1''$	0,001	0	0,001
20°	$0''$	$-4''$	$-0,001$	0	0,002	$0''$	$-1''$	$-0,001$	0	0,001
10°	$0''$	$-1''$	$-0,002$	0	0	$-1''$	$-2''$	0	0	0,001
0°	$0''$	$90^\circ 05' 02''$	50,203	0,000	0,073	$0''$	$90^\circ 04' 47''$	100,118	0,000	0,139
-10°	$-2''$	$5''$	0	$-0,001$	$-0,002$	$0''$	$3''$	0,001	0	$-0,001$
-20°	$1''$	$7''$	0	0	$-0,003$	$0''$	$2''$	$-0,001$	0	$-0,001$
-30°	$1''$	$9''$	0	0	$-0,004$	$0''$	$5''$	0	0	$-0,002$
-40°	$1''$	$10''$	0	0	$-0,007$	$0''$	$6''$	0	$-0,001$	$-0,003$

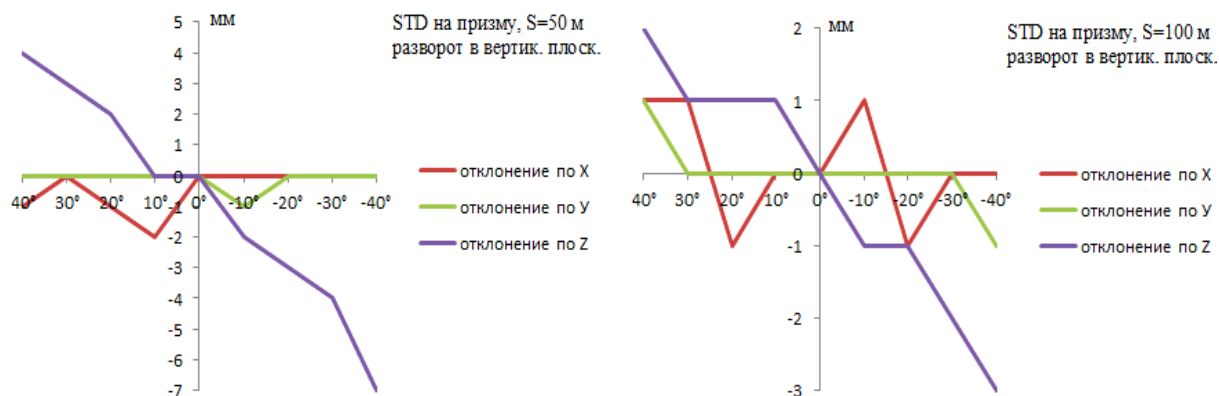


Рисунок 3 – Зависимость погрешности измерения направлений и линий от угла разворота призмного отражателя в вертикальной плоскости

Таблица 4 – Разворот призмы в горизонтальной и вертикальной плоскостях (S ≈ 50 и 100 м)

Разворот призмы в горизонтальной и вертикальной плоскости										
Угол разворота	STD (на призму, S ≈ 50 м)					STD (на призму, S ≈ 100 м)				
	$\Delta\alpha$	Δz	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м	$\Delta\alpha$	Δz	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м
30°/30°	-14"	-10"	0	-0,003	0,002	-5"	-8"	0	-0,002	0,004
20°/20°	-4"	-3"	-0,001	-0,001	0,001	-4"	-6"	-0,001	-0,002	0,002
10°/10°	-5"	-1"	-0,002	-0,001	0	-2"	-2"	-0,001	-0,001	0,001
0°/0°	0"	90°05'02"	50,203	0,000	0,073	0"	90°04'47"	100,118	0,000	0,132
-10°/-10°	1"	3"	0	0	-0,001	0"	1"	-0,001	0	0
-20°/-20°	2"	2"	0	0,001	-0,001	2"	3"	-0,001	0,001	-0,001
-30°/-30°	6"	5"	0,001	0,002	-0,002	6"	8"	-0,001	0,003	-0,003

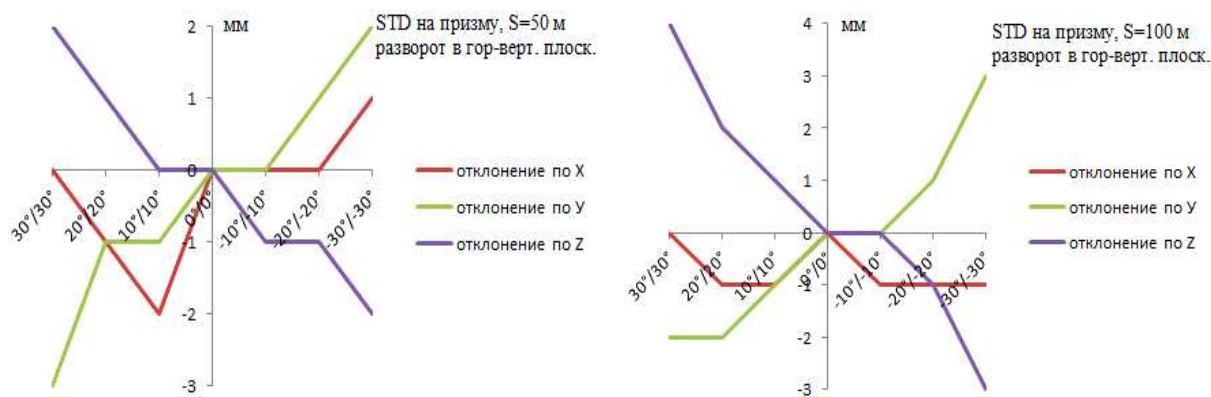


Рисунок 4 – Зависимость погрешности измерения направлений и линий от угла разворота призмного отражателя в горизонтальной и вертикальной плоскостях

По результатам эксперимента с призмным отражателем можно отметить:

- 1) максимальный разворот призмного отражателя Leica GPH1 от нормали к линии визирования составляет 50° в горизонтальной плоскости при расстоянии в 50 метров и уменьшается с увеличением длины измеряемой линии;
- 2) в рабочем диапазоне разворота призмного отражателя увеличение измеряемого расстояния не наблюдается;
- 3) разворот призмы характеризуется следующими особенностями:
 - значительный угол разворота в горизонтальной плоскости для расстояния как 50, так и 100 метров вносит значительные погрешности в измерение горизонтальных направлений и, как следствие, в поперечную компоненту ΔY ;

- разворот в вертикальной плоскости, близкий к предельному, значительно искажает зенитные расстояния и высотную компоненту ΔZ ;

- разворот в обеих плоскостях имеет общую особенность ошибок как для поперечной компоненты и горизонтальных направлений, так и для высотной составляющей и зенитных расстояний.

В таблице 5 представлены данные эксперимента для расстояний 50 и 100 метров и разворота пленочного отражателя в горизонтальной плоскости. Графики зависимости погрешности измерения направлений и линий от угла разворота пленочного отражателя представлены на рисунке 5.

Таблица 5 – Разворот пленочного отражателя в горизонтальной плоскости ($S \approx 50$ и 100 м)

Разворот призмы в горизонтальной плоскости										
Угол разворота	DR (на пленку, $S \approx 50$ м)					DR (на пленку, $S \approx 100$ м)				
	$\Delta\alpha$	Δz	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м	$\Delta\alpha$	Δz	ΔX , м	ΔY , м	ΔZ , м
60°	10"	1"	0,003	0,000	0	11"	1"	0,002	0,000	0
50°	9"	0"	0,002	0,001	-0,001	10"	1"	0,002	0,001	-0,001
40°	6"	0"	0,002	0,000	0	7"	0"	0,002	0,000	0
30°	4"	1"	0,002	0,001	-0,001	6"	1"	0,001	-0,001	0
20°	3"	1"	0,002	0,001	0	2"	-1"	0	0	0
10°	1"	0"	0,001	0	0	2"	0"	0,001	0	0
0°	0"	89°48'27"	50,364	0,000	0,169	0"	89°54'32"	75,012	0,000	0,260
-10°	-2"	1"	0,001	0,000	0	-1"	0"	0,001	0	0
-20°	-3"	1"	0	0,001	0,001	-3"	-1"	0	-0,001	0
-30°	-5"	0"	0,001	0,000	0	-5"	0"	0,001	0,000	0
-40°	-6"	1"	0,002	-0,001	0,001	-7"	1"	0,001	0,000	0,001
-50°	-8"	-1"	0,002	0,000	0,001	-8"	-1"	0,002	-0,001	0,001
-60°	-11"	0"	0,003	0,000	0	-9"	0"	0,001	0,000	0



Рисунок 5 – Зависимость погрешности измерения направлений и линий от угла разворота пленочного отражателя в горизонтальной плоскости

В результатах эксперимента с пленочным отражателем наблюдаются следующие закономерности:

- максимальный разворот пленочного отражателя от нормали к линии визирования составляет 60°.
- Рост угла разворота пленки сопровождается линейной тенденцией к увеличению измеряемого расстояния;
- предельный разворот пленочного отражателя от нормали к линии визирования не влечет увеличения погрешности в результатах измерений горизонтальных направлений и в поперечной компоненте ΔY .

На основании проведенных экспериментов можно сделать следующие **выводы**:

1) максимальный диапазон углов разворота призмного отражателя составляет 40...50°, что меньше, чем у пленочного отражателя, указанный угол которого составляет 60°. Данное различие объясняется конструктивными особенностями корпуса призмного отражателя. Кроме того, максимальный угол разворота призмного отражателя зависит от величины измеряемого расстояния;

2) при измерениях на пленочный отражатель наблюдается увеличение измеряемого расстояния с увеличением угла разворота отражателя. Результаты измерения расстояний на призмный отражатель носят случайный характер;

3) рабочий разворот призмного отражателя как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости составляет 20° , после чего в результаты измерений привносятся значительные погрешности. Приемлемый разворот пленочного отражателя, при котором измеряемое расстояние изменяется незначительно, составляет $40\dots 50^\circ$;

4) разворот призмного отражателя в горизонтальной плоскости показал стремление к увеличению погрешностей измерения горизонтальных направлений. Разворот призмы в вертикальной плоскости имеет тенденцию к увеличению погрешности измерения зенитных расстояний. Разворот пленочного отражателя в горизонтальной плоскости не вносит погрешности в измерение горизонтальных направлений;

5) на основании полученных результатов можно утверждать, что использование призмных отражателей при выполнении высокоточных инженерно-геодезических работ, а также применение пленочных отражателей при закреплении геодезических сетей для работ повышенной точности возможно лишь при строгом ориентировании их отражающей поверхности на дальномер.

ЛИТЕРАТУРА

1. Спиридонов, Ю.В. Ошибки визирования при наблюдениях на призмные отражатели / Ю.В. Спиридонов // Credo-Dialogue. Проблемы и решения. – 2004. – № 13.
2. Электронный тахеометр Trimble серии M3 DR 2",3",5": руководство пользователя, 2009.
3. LEICA Surveying Reflectors-White Paper Characteristics and Influences [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.yumpu.com/en/document/view/28954131/surveying-reflectors-white-paper-characteristics-and-influences>. – Дата доступа: 03.05.2015.
4. ORAFOL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.orafol.com/corp/europe/ru/frontpage>. – Дата доступа: 03.05.2015.

Поступила 23.11.2015

RESEARCH OF FEATURES OF SIGHT AND MEASUREMENT OF LINES WITH USE OF GEODETIC REFLECTORS

K. MARKOVICH, A. VALUSHKIN

The article is devoted to the analysis of the errors of sight and measuring lines, which do not arise in the strict orientation of geodetic reflector. The dependence of the magnitude of the error on the conditions of orientation and design of the reflector.