УДК 528.517

В.В.ПЕТРОВ, К.Н.ШКАВЕРА
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАССТОЯНИЙ ЛАЗЕРНОЙ РУЛЕТКОЙ «DISTO PRO» ФИРМЫ «LEICA»

Работа посвящена исследованию точностных характеристик безотражательных лазерных дальномеров. Излагается способ оценки точности измеренных расстояний для различных отражающих поверхностей, основанный на анализе разностей измеренных расстояний при двух положениях отражателя, фиксируемых независимо с повышенной точностью. Методика измерений предусматривала использование отражающих поверхностей двух цветов, устанавливаемых под разными углами к лазерному лучу.

Предложенный подход применен для лазерной рулетки модели «DISTO Pro» швейцарской фирмы «Leica». Для условий реальных измерений, смоделированных в экспериментах, получены численные значения погрешностей исследуемой рулетки. По результатам обработки полученных данных сделаны выводы о возможности повышения точности подобных линейных измерений.

The work is devoted to research characteristics the laser determinant of distance. The way of an estimation of the measured distances for the various reflecting surfaces based on an estimation of a difference of measured distances at two situations of a reflector, fixed independently with the increased accuracy is stated. The philosophy of measurement provided use of reflecting surfaces of two colours installed under different corners to a laser beam.

The offered approach is applied for a laser roulette of model «DISTO Pro» of the Swiss firm «Leica». For conditions of real measurements simulated in experiments, the numerical meanings of errors of a researched roulette are received. By results of processing the received data the conclusions about opportunities of increase of accuracy of similar linear measurements are made.

При производстве геодезических и маркшейдерских работ широкое распространение получили лазерные рулетки – безотражательные лазерные дальномеры. С помощью специальных адаптеров их можно устанавливать на оптические и электронные теодолиты, что позволит применять этот комплект в качестве безотражательного тахеометра. Луч лазера виден, поэтому наведение такого прибора может осуществляться без операции визирования в зрительную трубу теодолита. Это крайне удобно в условиях низкой освещенности при производстве работ в шахтах и производственных цехах, а также при больших углах наклона, в процессе архитектурных обмеров интерьеров и фасадов зданий*. Спецификой работ является высокие требования к точности (0,1-1,0 мм), небольшие расстояния (50-100 м), недоступность объекта наблюдения, его различная ориентация относительно наблюдателя и разные свойства поверхности обмеряемого объекта (шероховатость, цвет, отражающая способность).

Особенно удобны для применения в указанных выше целях лазерные рулетки серии «DISTO» швейцарской фирмы «Leica». Ими измеряют расстояния до 200 м с точностью 1,0-3 мм. Одной из наиболее совершенных моделей является лазерная рулетка «DISTO Pro». Заявленная фирмой точность измерения расстояний $m_s = 0{,}5$ мм и дальность до 100 м. Возможность подключения «DISTO Pro» к компьютеру (интерфейс *RS*232) позволяет организовывать автоматическую технологическую цепочку и выполнять работы в режиме «On Line», что крайне важно для индустриальных из-

* *Петров В.В.* Бесконтактный обмер площадки под строительство / В.В.Петров, Ю.Н.Корнилов // Зап. Горного института. Т.146. СПб, 2001.

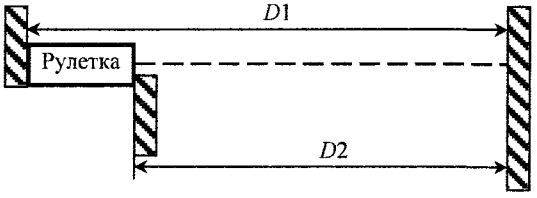


Рис.1.Схема измерения расстояний лазерной рулеткой

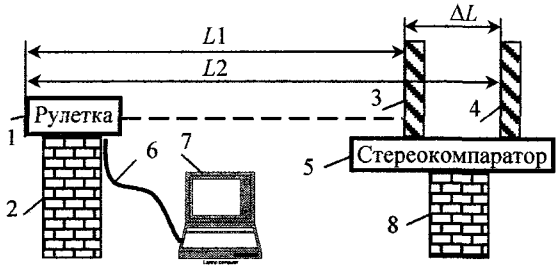


Рис.2. Схема измерительного стенда

мерительных систем («IMS – Industrial Measurement Systems»)*.

Методика измерений мало зависит от типа рулетки. Оператор прикладывает рулетку к опорной поверхности (рис.1) или устанавливает на фотоштатив, наводит на отражающую поверхность и выполняет измерение. Специальный пластиковый экран повышает точность и дальность действия рулетки. По выбору оператора «DISTO Pro» измеряет расстояние либо $D1$ (от заднего торца), либо $D2$ (от переднего торца). Задний торец рулетки снабжен специальной металлической пяткой, позволяющей однозначно устанавливать рулетку на опорной поверхности. Процесс измерений активизируется нажатием кнопки на панели управления рулетки или командой с компьютера.

Известно, что пригодность прибора для решения тех или иных задач определяется ошибкой измерений и ее постоянством в различных условиях работы. Поэтому была исследована точность измерения расстояний лазерной рулеткой до отражающих поверхностей двух цветов (черная матовая и белая матовая). Указанные поверхности устанавливали под различными углами к лазерному лучу.

Поскольку при компарировании приборов методом сличения образцовая мера должна быть как минимум в три раза точнее ожидаемой погрешности исследуемого прибора, а заявленная производителем точность измерения расстояния рулеткой «DISTO Pro» составляет 1,0 мм на расстоянии до 100 м, точность компаратора должна быть не хуже 0,3 мм. Для ее обеспечения и исключения неприборных ошибок, вызванных непостоянством положения рулетки на опорной поверхности и лазерного зайчика на отражающем экране, а также смещения рулетки при нажатии кнопок на ее корпусе, был разработан измерительный стенд (рис.2). В нем рулетка 1 закреплялась неподвижно на бетонном основании 2, а отражательный экран 3 устанавливался на каретке стереокомпаратора 5, размещенного на бетонной тумбе 8 примерно в 4 м от рулетки. Управление процессом измерений выполнялось через интерфейсный кабель 6 с компьютера 7. Регистрация результатов также осуществлялась компьютером.

Диапазон перемещения каретки по оси X стереокомпаратора из положения 3 в положение 4 составляет 400 мм. Цена деления ее отсчетного устройства 0,02 мм. Точность измерения перемещений 0,01 мм. Кроме того, снимкодержатели кареток можно поворачивать вокруг вертикальной оси с шагом в 1°.

Методика измерений:

1) на кассете стереокомпаратора устанавливался отражающий экран;

2) электронной рулеткой по команде с компьютера измерялось расстояние $L1$;

3) фиксировался начальный отсчет $K1$ индикатора перемещений каретки стереокомпаратора;

4) каретка стереокомпаратора смещалась на величину ΔL;

5) рулеткой по команде с компьютера измерялось расстояние $L2$;

6) фиксировался новый отсчет $K2$ индикатора перемещений каретки и т.д.

При подключении электронной рулетки к компьютеру значения расстояний фиксировались с точностью до 0,1 мм, поэтому погрешностью в 0,02 мм смещения экрана (на величину ΔL) можно пренебречь. Таким

* *Петров В.В.* Применение прецизионного электронного тахеометра для исследование взаимного расположения валов и механизмов бумагоделательных машин // Зап. Горного института. Т.146. СПб, 2001.

образом, из-за отсутствия высокоточного компаратора достаточной длины вместо оценки погрешностей измерения расстояния выполнено исследование точности определения их разностей. При этом изменением положения каретки стереокомпаратора можно обследовать весь интервал измеряемых рулеткой расстояний, а поворотом каретки изучать влияние на точность отклонения экрана от нормали к лучу лазера.

В данном случае для каждого положения экрана выполнялась серия из 15 отдельных измерений расстояния. Каретка стереокомпаратора перемещалась в диапазоне 400 мм с примерным шагом 15 мм. Исследования проведены для экранов черного и белого цвета при разных углах их отклонения от нормали к лучу лазера (по 9 углов для каждой установки экрана, их значения приведены в таблице).

Результаты расчета поверхностей

Угол отклонения лазерного луча от нормали	Цвет отражающей поверхности экрана			
	черный		белый	
	m_l, мм	m_Δ, мм	m_l, мм	m_Δ, мм
0	0,45	0,17	0,72	3,40
9°	0,24	0,18	3,5	0,22
18	0,91	0,68	–	–
27	4,61	0,88	–	–
45	–	–	0,54	0,34
54	–	–	0,64	0,50
63	–	–	1,16	0,68
67,5	–	–	0,97	0,28
72	–	–	0,80	0,68

При камеральной обработке для каждой ориентации и цвета экрана вычислены:

1) средние квадратические ошибки измерения расстояний L по известной формуле Бесселя $m_l = \sqrt{[VV]/(n-1)}$, где $V = L_i - L_{ср}$ – отклонения от среднего; а n – количество измерений в серии;

2) средние квадратические ошибки определения перемещений $\Delta = K2 - K1$ отражающего экрана (ошибки определения изменения расстояния), вычисленных из измеренных электронной рулеткой расстояний $\Delta L = L2_{ср} - L1_{ср}$, при этом была использована формула $m_\Delta = \sqrt{[\upsilon\upsilon]/N}$, где $\upsilon = \Delta L - \Delta$ – отклонение от значений перемещений, измеренных стереокомпаратором; N – количество интервалов. Результаты исследования приведены в таблице

Анализ результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Точность определения разности расстояний рулеткой «DISTO Pro» порядка 0,5 мм.

2. При черной отражающей поверхности рулетка более чувствительна к отклонению лазерного луча от нормали к экрану: так, при отклонении экрана на 27° процесс измерения существенно замедлялся, а при бóльших углах не выполнялся совсем.

3. При белой отражающей поверхности колебания значений расстояния незначительно зависят от угла отклонения лазерного луча от нормали, но при угле 76,5° процесс измерения становится бессмысленным ввиду неоднозначности получаемых результатов в одной серии измерений. Разброс значений, по-видимому, связан с тем, что след лазерного луча на экране переходит в эллипс, длина большой полуоси которого при угле 76,5° превышает полуразмеры отражающей цели (5-6 см), поэтому лазерный луч имеет возможность отражаться от предметов, находящихся в этот момент за экраном.

Выполненные эксперименты, кроме того, показали, что для повышения надежности измерений целесообразно:

1) измерять расстояния не сериями (режим трекинга), а отдельными процессами;

2) регистрировать результаты измерений с точностью до десятых долей миллиметра, для чего использовать терминал любой операционной системы (DOS, Windows), это позволит управлять рулеткой с компьютера и регистрировать результаты измерений в текстовом файле;

3) не превышать отклонение от нормали к лазерному лучу на углы более 9° при черной отражающей поверхности и 45° при белой отражающей поверхности.

Следует отметить, что при падении напряжения питания рулетки точность измерения существенно падает без сигнала о возможной ошибке. Требует дальнейшего исследования точность измерений при больших отстояниях экрана.