

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ПУЧКА ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Игильманов Жангельды Абдрахманович, профессор Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева, к. т. н.

Джорашов Диас Аликович, старший преподаватель Евразийского национального университета им. Л. Н. Гумилева, магистр

E-mail: jorashov@hotmail.com

Аннотация. В настоящее время при геодезическом обеспечении строительно-монтажных работ все более широкое применение находят лазерные геодезические инструменты. При использовании лазерного пучка в качестве опорной линии важнейшим является обеспечение стабильности направления распространения лазерного пучка, которое во многом зависит от нагрева материала под действием солнечных лучей. Выполненные авторами статьи экспериментальные исследования и обработка их результатов с применением двухфакторного дисперсного анализа позволили сделать вывод, что располагая пучок на расстоянии выше 10 см над поверхностью нагретых железобетонных конструкций, можно значительно уменьшить влияние этого фактора на точность геодезических измерений.

Annotation. Currently, the laser surveying instruments are widely used during the construction and installation works. When the laser beam is used as an abutting line is essential to ensure direction stability of the laser beam dissemination, which depends on the heating material under the influence of sunlight. The article authors made experimental research and their results processing using two-factor variance analysis led to conclusion that the positioning beam at a distance greater than 10 cm above the surface of the heated concrete structures can significantly reduce its impact to the accuracy of geodetic measurements.

При использовании пучка лазерного излучения в качестве опорной линии при производстве геодезических работ важнейшим является обеспечение стабильности направления распространения лазерного пучка во времени. Одной из причин, вызывающих нестабильность пучка лазерного излучения, является нагрев прибора под действием солнечных лучей и рефракции.

В связи с этим нами были выполнены специальные исследования на территории г. Астаны (где летом обычно температура достигает 30 °С и выше), целью которых явилось определение степени влияния длины лазерного пучка и рефракции на точность геодезических измерений при повышенной температуре окружающей среды.

Для этих целей на стройплощадке был закреплен базис длиной 100 м с промежуточными точками через 10 м, которые закреплялись металлическими штырями. Лазерный нивелир устанавливался в начальной точке, и брались отсчеты по рейке с уровнем на остальных точках базиса при горизонтальном положении лазерного пучка. Наблюдения велись в дневное время с интервалом 1 час с одновременным измерением температуры воздуха. Температура менялась от +17 °С (в утреннее и вечернее время) до +35 °С (в полдень).

Для выяснения степени влияния изменения расстояния и температуры окружающей среды на стабильность пучка лазерного излучения (нулевая гипотеза) мы применяли двухфакторный дисперсионный анализ.

Для анализа результатов исследований используем следующие формулы [2]:

$$Q_1 = \sum_{i=1}^{\tau} \frac{(\sum_{j=1}^{\nu} x_{ij})^2}{\nu} - \frac{(\sum_{i=1}^{\tau} \sum_{j=1}^{\nu} x_{ij})^2}{\tau \cdot \nu} ; \quad (1)$$

$$Q_2 = \sum_{j=1}^{\nu} \frac{(\sum_{i=1}^{\tau} x_{ij})^2}{\tau} - \frac{(\sum_{i=1}^{\tau} \sum_{j=1}^{\nu} x_{ij})^2}{\tau \cdot \nu} ; \quad (2)$$

$$Q_3 = \sum_{i=1}^{\tau} \sum_{j=1}^{\nu} x_{ij}^2 - \frac{\sum_{i=1}^{\tau} (\sum_{j=1}^{\nu} x_{ij})^2}{\nu} - \frac{\sum_{j=1}^{\nu} (\sum_{i=1}^{\tau} x_{ij})^2}{\tau} + \frac{(\sum_{i=1}^{\tau} \sum_{j=1}^{\nu} x_{ij})^2}{\tau \cdot \nu} ; \quad (3)$$

$$Q = \sum_{i=1}^{\tau} \sum_{j=1}^{\nu} x_{ij}^2 - \frac{(\sum_{i=1}^{\tau} \sum_{j=1}^{\nu} x_{ij})^2}{\tau \cdot \nu} ; \quad (4)$$

ГУ = – количество наблюдений по признакам.

Данные наблюдений x_{ij} и вычисления по формулам (1-4) представлены в таблице 1

Таблица 1 – Отклонение геометрического центра лазерного пучка

		Температура, x_i												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Расстояние, x_j	1	-3,1	-3,1	-2,1	1,9	2,9	2,9	-0,1	-1,1	-1,9	1,9	-0,1	1,9	-4,1
	2	2,8	1,8	1,8	-0,2	-0,2	-2,2	3,8	-1,2	-0,2	-3,2	-0,2	-2,2	-0,2
	3	2,0	1,0	-3,0	-0,4	-2,0	0	3,0	-1,0	-1,0	-2,0	-3,0	-1,0	4,0
	4	0,6	-0,4	0,6	-1,4	0,6	-0,4	-6,4	0,6	2,6	0,6	1,6	-0,4	1,6
	5	-0,7	-0,7	-0,7	4,3	-2,7	-1,7	4,3	3,8	2,3	-1,7	-2,7	-2,7	-0,7
	6	1,6	1,5	1,5	-2,5	-0,5	-3,5	-2,5	2,5	0,5	-1,5	1,5	1,5	-0,5
	7	0,9	-0,1	-2,1	2,9	1,9	5,9	-3,1	-1,1	-0,1	-2,1	-0,1	-3,1	0,9
	8	-6,0	-3,0	2,0	-4,0	0	0	2,0	1,0	3,0	2,0	2,0	2,0	1,0
	9	4,2	2,2	-1,8	-0,8	-0,8	-0,8	-2,8	-1,8	-0,8	1,2	0,8	-1,2	-0,8

$$\sum x_i = \sum x_j = -8,8; \quad (\sum x_j)^2 = 90,88; \quad (\sum x_i)^2 = 185,36; \quad \sum x_{ij}^2 = 594,25;$$

Для проверки степени значимости расхождений, обнаруженных в средних по строкам и колонкам, в таблице 1 вычисляются критерии

$$F_A = \frac{\frac{1}{r-1}Q_1}{\frac{1}{(r-1)(\theta-1)}Q_3} = \frac{S_1^2}{S_3^2}, \quad (5)$$

$$F_B = \frac{\frac{1}{\theta-1}Q_2}{\frac{1}{(r-1)(\theta-1)}Q_3} = \frac{S_2^2}{S_3^2}, \quad (6)$$

$(r - 1)$, $(\theta - 1)$ – степени свободы.

Пользуясь соотношениями (1)-(4) и данными таблице 5 имеем

$$Q_1 = \frac{90,88}{13} - \frac{8,8^2}{9 \cdot 13} = 6,99 - 0,66 = 6,33 \text{ мм}^2,$$

$$Q_2 = \frac{185,36}{9} - 0,66 = 20,59 - 0,66 = 19,93 \text{ мм}^2,$$

$$Q_3 = 594,23 - 20,59 - 6,99 + 0,66 = 567,31 \text{ мм}^2,$$

$$Q = 594,23 - 0,66 = 593,57 \text{ мм}^2$$

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты двухфакторного дисперсионного анализа

<i>Компонент дисперсии</i>	<i>Сумма квадратов</i>	<i>Число степеней свободы</i>	<i>Средний квадрат</i>
Между точками базиса	6,33	8	0,79
Между температурными интервалами	19,93	12	1,56
Остаточная	567,31	96	5,90
Общая (полная)	593,57	116	5,12

По данным этой таблицы произведена проверка нулевой гипотезы при помощи F – критерия: для среднего квадрата «между точками базиса»:

$$F_6 = \frac{5,90}{0,79} = 7,47$$

И для среднего квадрата «между температурными интервалами»

$$F_T = \frac{5,90}{1,66} = 3,55$$

По таблице VI из приложений [1] находим, что для первого случая критические границы составляют $F_5 = 2,99$ и $F_1 = 4,98$, а для второго значения $F_5 = 2,36$ и $F_1 = 3,47$.

Значения F_6 и F_T попадают в критическую область, поэтому нулевая гипотеза опровергается, т.е. длина пучка лазерного излучения и температура оказывают существенное влияние на его стабильность.

Авторами были использованы специальные штативы и другие приспособления для установки приборов в непосредственной близости от поверхности конструкций, положение которых при установке контролируется. Поэтому весьма важно знать те границы удаления лазерного пучка от поверхности строительных конструкций, при которых будет наименьшая потеря точности из-за влияния рефракции.

Для исследования этого вопроса были проведены экспериментальные измерения по лазерному пучку нивелира промежуточных точек на 12-ти параллельных створах, удаленных от поверхности конструкций на расстоянии от 3 см (первый створ) до 36 см (двенадцатый створ). Расстояние между точками 15 м. При температуре воздуха на поверхности конструкций от 26 °С до 30 °С по каждому створу проводилось нивелирование точек восемью сериями и разными наблюдателями.

На основании этих измерений по формуле Бесселя были вычислены средние квадратические погрешности нивелирования (табл. 3).

Таблица 3 – Средние квадратические ошибки нивелирования, мм

Створы, см	Точки наблюдения				
	1	2	3	4	5
3	0,11	0,33	0,43	0,63	0,65
5	0,11	0,10	0,47	0,57	0,47
6	0,11	0,31	0,46	0,60	0,74
7	0,10	0,21	0,38	0,44	0,74
8	0,06	0,11	0,11	0,13	0,26
10	0,07	0,11	0,13	0,15	0,26
11	0,05	0,16	0,13	0,21	0,32
16	0,04	0,07	0,08	0,08	0,32
21	0,03	0,03	0,14	0,13	0,19
26	0,02	0,08	0,07	0,09	0,20
31	0,04	0,05	0,12	0,21	0,17
36	0,05	0,04	0,11	0,11	0,05

Из таблицы 3 видно, что величины средних квадратических погрешностей нивелирования уменьшаются с удалением линии нивелирования от конструкции. Для выявления характера закономерности этого уменьшения и удобства сравнения погрешности каждого створа аппроксимируем к прямым, проходящим через начало координат. Аппроксимацию выполняют по методу наименьших квадратов, изложенному в работе [3]. Прямые средних квадратических погрешностей нивелирования представлены на рис. 1. По оси абсцисс отложены расстояния d от лазерного прибора до нивелируемых точек, а по оси ординат - средние квадратические погрешности m нивелирования.

Вычисленные коэффициенты B каждой прямой средних квадратических погрешностей сведены в табл. 4

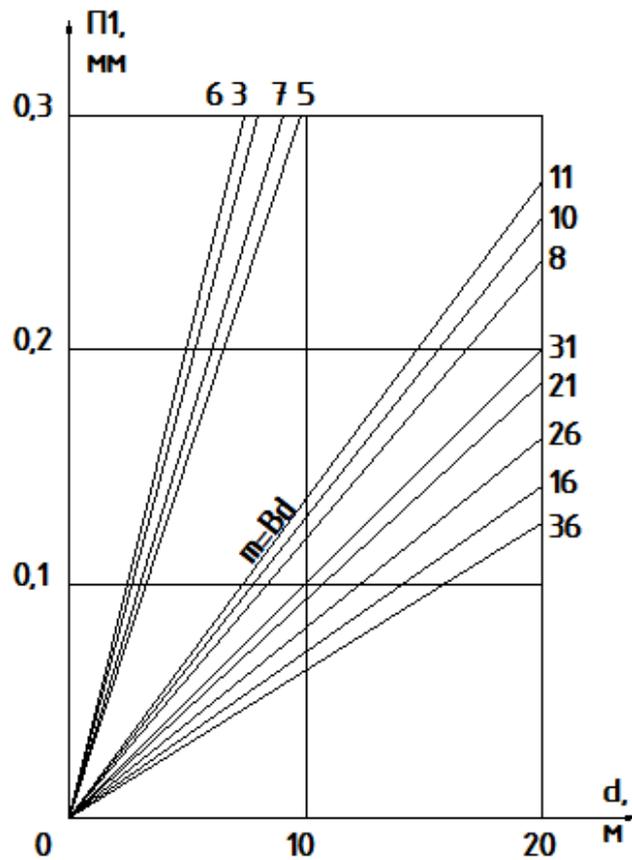


Рис. 1. Значения средних квадратических погрешностей нивелирования

Таблица 4 – Коэффициенты регрессии

Створы	Значения коэф. B	Створы	Значения коэф. B
3	0,0384	11	0,0135
5	0,0313	16	0,0072
6	0,0396	21	0,0093
7	0,0334	26	0,0082
8	0,0119	31	0,0105
10	0,0128	36	0,0064

Зависимость коэффициентов B нивелирования от удаления створа C была установлена графически. Для этого по оси абсцисс откладывались расстояния между створом и поверхностью конструкции, а по оси ординат - величины коэффициентов B . Из рисунка 2 видно, что кривая зависимости B от C аппроксимируется гиперболой типа

$$B = \frac{f^2}{2C} \quad (7)$$

у которой за оси координат принять асимптоты и ближайшая точка к началу координат (расстояния f) лежит в области расстояний порядка 10 см и коэффициента прямой $B = 0,0115$.

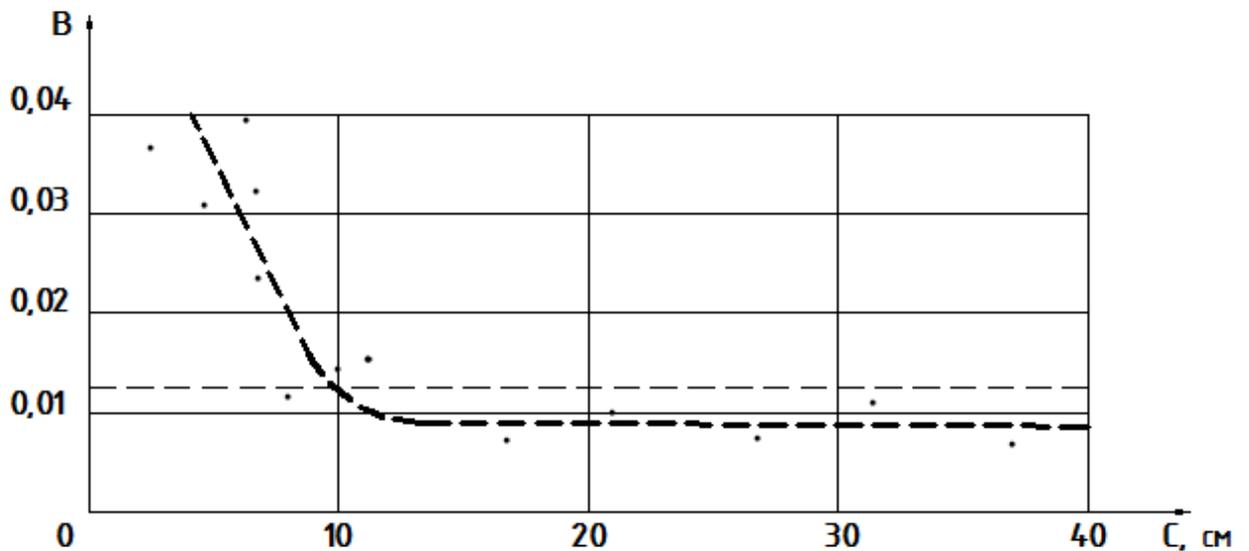


Рис. 2. Зависимость параметра B от высоты C лазерного пункта над трубой

Из полученных результатов можно сделать вывод о том, что тепловое влияния железобетонных конструкции, нагретых прямыми лучами солнца до температуры порядка $+30\text{ }^{\circ}\text{C}$, на прямолинейность лазерного пучка, проходящего над поверхностью трубы, существенно, если удаление от конструкций меньше 10 см.

Поэтому при высоких температуре при работе с лазерными приборами рекомендуется устанавливать прибор так, чтобы лазерный пучок проходил над нагретой строительной конструкцией на расстоянии не менее 10 см.

Литература

1. Смирнов Н. В., Белугин Д. А. Теория вероятностей и математическая статистика в приложении к геодезии – М.: Недра, 1969. – 384 с.
2. Смирнов Н. В., Дунин-Барковский Н. В. Курс теории вероятностей в математической статистике для технических приложений – М.: Наука, 1969. – 512 с.
3. Яковлев К. П. Математическая обработка результатов измерений. – М.: Гостехиздат, 1953. – 383 с.

Дата поступления статьи 04.03.2015 г.